

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



Rec'd PCT/PTO

27 JAN 2005

(43) 国際公開日
2004 年 12 月 23 日 (23.12.2004)

PCT

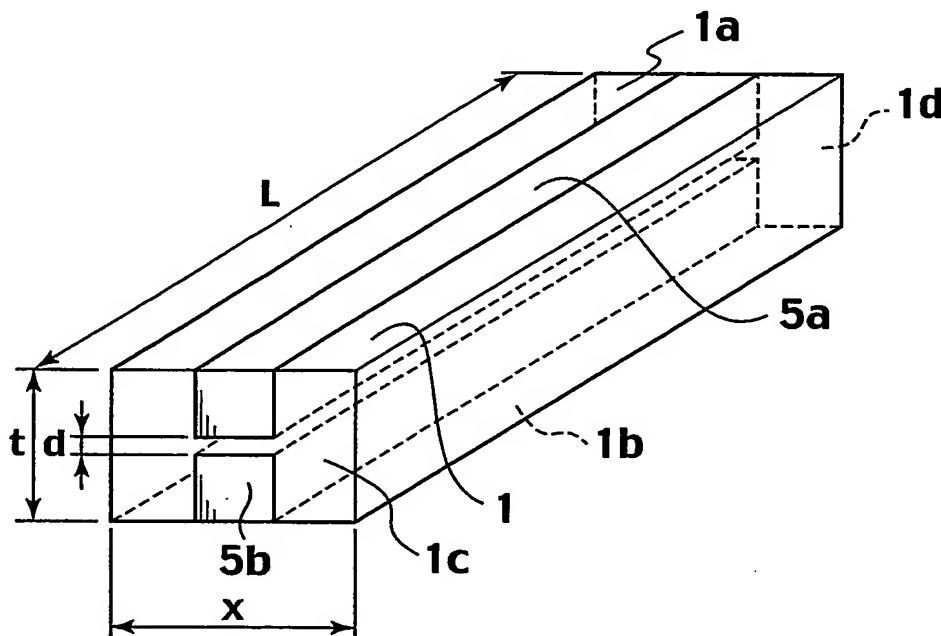
(10) 国際公開番号
WO 2004/111710 A1

- (51) 国際特許分類: G02F 1/03, G01R 29/08, 29/12
(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/008384
(22) 国際出願日: 2004 年 6 月 9 日 (09.06.2004)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願2003-165497 2003 年 6 月 10 日 (10.06.2003) JP
特願 2003-380434 2003 年 11 月 10 日 (10.11.2003) JP
特願2004-111861 2004 年 4 月 6 日 (06.04.2004) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP).
(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 佐々木 愛一郎 (SASAKI, Aiichirou) [JP/JP]. 品川 満 (SHINAGAWA, Mitsuru) [JP/JP].
(74) 代理人: 三好 秀和 (MIYOSHI, Hidekazu); 〒1050001 東京都港区虎ノ門 1 丁目 2 番 3 号 虎ノ門第 1 ビル 9 階 Tokyo (JP).
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: ELECTROOPTIC MODULATION ELEMENT

(54) 発明の名称: 電気光学変調素子



(57) Abstract: Grooves (3a, 3b) are formed in a pair of opposed side surfaces (1a, 1b) of an electrooptic crystal (1) such that the bottom surfaces of the grooves are close to each other so that the distance between the bottom surfaces does not exceed a predetermined distance. A pair of electrodes (5a, 5b) are formed in the grooves so as to substantially completely fill the grooves (3a, 3b).

(57) 要約: 電気光学結晶 (1) の対向する一対の側面 (1a、1b) に、溝 (3a、3b) を各底面の距離が所定の距離以下になるべく各々の底面が互いに近接するように形成し、この溝 (3a、3b) をほぼ完全に埋めるように各溝内に一対の電極 (5a、5b) を形成する。

WO 2004/111710 A1



(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

明 細 書

電気光学変調素子

5 技術分野

本発明は、結合電界により複屈折率が変化する電気光学（E l e c t o - O p t i c : E O）結晶と、該電気光学結晶に対して電界を結合させるために電気光学結晶を挟んで配設される一対の電極とを有し、この一対の電極を介して電界が結合されることにより、その電界強度に
10 応じた複屈折率の変化に応じて一対の電極間に入射される光の偏光を変化させる電気光学変調素子に関し、特に、強度を損なうことなく、また大型化することなく、向上した変調効率や感度を有すると共に平坦な周波数特性を有する電気光学変調素子に関する。

15

背景技術

電気光学結晶を用いた電気光学変調素子は、電極間に生じさせる電界の大きさに応じて結晶を通過する光の位相を変調させる電気光学変調器としてや、逆に結晶を通過する光の位相変化を検出することにより電極間の電界又は電気信号を検出する電界センサとして使用される。

20

例えば、電界センサにおいては、交流の電界が印加されている電気光学結晶に光ビームを入射させ、電気光学結晶から出射された光を偏光ビームスプリッタ（P o l
25

a l i z i n g - B e a m S p l i t t e r : 以下、
P B S という) により S 偏光と P 偏光とに分離し、2つ
の光検出器 (P h o t o d e t e c t o r : 以下、P D
という) によってそれぞれの偏光を独立に検出する。そ
5 して、各偏光の強度の差を P D と差動アンプで検出する。

図 1 は、従来の電界センサの動作説明図である。

光源 1 0 1 から出射した光ビーム 1 0 3 は位相補償板
1 0 5 と電気光学結晶 1 0 7 を透過後、P B S 1 0 9 に
入射する。光ビーム 1 0 3 の偏光状態は、P B S 1 0 9
10 に入射する直前において円偏光になるように、位相補償
板 1 0 5 によって調整されている。電気光学結晶 1 0 7
には、信号電極 1 1 1 及びグラウンド電極 1 1 3 を介し
て被測定信号 1 1 5 に応じた電界が印加される。光ビー
ム 1 0 3 は電界に応じて電気光学結晶 1 0 7 内にて偏光
15 変調を受ける。偏光変調光は P B S 1 0 9 で S 及び P 偏
光成分に分離される。このとき、各偏光成分は強度変調
光に変換されている。強度変調された S 及び P 偏光成分
は互いに逆相に変化する。したがって、P D 1 1 7 及び
1 1 9 で受光し、差動アンプ 1 2 1 を用いて差動信号検
20 出することによって、より S N 比の高い出力信号 1 2 2
を得ることが可能となる (例えば、特開 2 0 0 3 - 9 8
2 0 5 号公報、特開 2 0 0 3 - 9 8 2 0 4 号公報、特開
2 0 0 0 - 1 7 1 4 8 8 号公報参照)。

また、電気光学結晶を用いた電気光学変調素子は、生
25 体を信号経路としたウェアラブルコンピュータ間の通信

に適用し始められている。つまり、生体を経由して通信相手のウェアラブルコンピュータの受信器に電界を誘起し、その電界を電気光学的手法により検出することにより、ウェアラブルコンピュータのグラウンドと大地グラ
5 ウンドの位置関係に極力依存しない通信、即ち生体上の任意の位置にあるウェアラブルコンピュータとの通信が確実に実現できる。

図 2 A 乃至 2 C は、電気光学結晶を用いて電気光学変調素子を制作する過程を説明するための図である。

10 電気光学結晶及び一对の電極からなる電気光学変調素子は、図 2 A に示すような原材料の電気光学結晶 1 0 7 a を薄く加工して、図 2 B に示すような薄い電気光学結晶 1 0 7 を形成し、この薄く加工された電気光学結晶 1 0 7 の対向する一对の側面に一对の電極 1 1 1、1 1 3
15 を形成して構成される。尚、このような薄く加工した場合の電気光学結晶 1 0 1 a の厚さ d は、約 0 . 1 m m 程度である。

ところで、生体を伝送路として用いた通信としては、いくつかの態様が考えられるが、代表的な態様としては、
20 設置型端末と携帯端末の間の通信と、携帯端末同士間の通信との 2 つが考えられる。

設置型端末と携帯端末の間の通信においては、設置型端末がアースグラウンドに接地されているので、比較的安定な状態で通信を行うことができる。それに対して、
25 携帯端末同士間の通信の通信においては、どちらの端末

も接地されておらず、極めて不安定な状態で通信が行われる。また、バッテリー駆動が一般的であり、低消費電力が要求される。故に、このような状態で通信を成立させるために受信器に要求される条件は、高感度であること
5 と、感度の周波数特性が平坦であること、である。

ここで、感度について先ず検討してみると、電気光学変調素子によって、光に与えられる位相変化 $\Delta \phi$ は、次式で与えられる。

$$\Delta \phi = \alpha \cdot (V / d) \cdot L$$

10 ここで、 α は電気光学結晶の種類や素子の構造によって決まる定数、 V は電極に印加される電圧、 d は電極間距離、 L は電気光学変調素子の長さである。この式が示すように、 d が小さく L が大きいほど、光に対して大きな位相変化を与えられる。即ち、電気光学変調器として
15 は変調効率が高くなり、電界センサとしては感度が向上する。

ここで、一对の電極間の距離を極力短くするためには電気光学結晶を薄く加工することが必要であるが、従来においては、ミリメートルオーダー以下の薄型結晶を用いた素子を作成するのは極めて困難であると共に、電気光学結晶が壊れ易くなるという問題があった。
20

また、電気光学結晶の光が入射する端面には無反射コーティングを施すことが望ましいが、電気光学結晶を薄くすると、無反射コーティングを施すことが困難になる
25 という問題があった。

別の観点から、電界センサとして感度を向上させるためには、前述のように光が通過する方向の電気光学結晶の長さを長くしてやればよいのであるが、電気光学結晶を薄くした分だけ強度を増すために電気光学変調素子を
5 特定の構造とした場合には、光が電気光学結晶の端面から出射せず、光の回折により上記長さが長ければ長いほど側面方向に光が漏れる現象がおき、変調効率が低くなったり感度が低下したりする。

また、第2の要求の周波数特性の平坦性については、
10 以下のことが問題となっている。即ち、電界を印加された電気光学結晶では、電子雲と結晶格子が変形することにより、光に対する結晶の複屈折率が変化する。電子雲の変形の程度は、印加された電界の周波数には依存しないが、結晶格子の変形の程度は周波数に依存する。従っ
15 て、電気光学結晶の感度の周波数特性は、kHz ~ MHz オーダーの帯域において、一般には平坦にならない。電気光学結晶の周波数特性が平坦にならないのは、具体的には、結晶のサイズや形状に依存して弾性振動の固有モードが生じることに起因する。

20 本発明は、上記に鑑みてなされたもので、変調効率や感度を向上し得る電気光学変調素子を提供することを目的とする。

特に、一对の電極間隔を狭くした場合にも、素子の強度を損なうことなく、かつ回折による光の漏れが生じる
25 ことなく、変調効率や感度を向上し得る電気光学変調素

子を提供することを目的とする。

また、特に、より平坦な周波数特性を有する電気光学変調素子を提供することを目的とする。

5 発明の開示

上記目的を達成するため、第1の態様に係る発明は、結合電界により複屈折率が変化する電気光学結晶と、この電気光学結晶に対して電界を結合させるために該電気光学結晶を挟んで配設される一対の電極とを有し、この一対の電極を介して電界が結合されることにより、その電界強度に応じた前記複屈折率の変化に応じて一対の電極間に入射される光の偏光を変化させる電気光学変調素子であって、前記電気光学結晶は、前記入射する光の方向と平行な一対の側面のそれぞれに、前記方向と平行な溝を有することにより、両溝により挟まれた薄い結晶部分が前記電界が結合する部分として構成され、前記一対の電極は、それぞれ前記溝を満たすように形成されていることを要旨とする。

第2の態様に係る発明は、第1の態様に係る発明において、前記両溝は、前記一対の側面において、前記光が入射し出射する両端面に渡って形成されていることを要旨とする。

第3の態様に係る発明は、第1の態様に係る発明において、前記両溝は、前記一対の側面において、前記光が入射し出射する両端面の間の両端部を除いた中央部のみ

に形成されていることを要旨とする。

また、上記目的を達成するため、第４の態様に係る発明は、結合電界により複屈折率が変化する電気光学結晶と、この電気光学結晶に対して電界を結合させるために
5 該電気光学結晶を挟んで配設される一对の電極とを有し、この一对の電極を介して電界が結合されることにより、その電界強度に応じた前記複屈折率の変化に応じて一对の電極間に入射される光の偏光を変化させる電気光学変調素子であって、前記電気光学結晶は、前記入射する光
10 の方向と平行な一对の側面のそれぞれに、前記方向と平行な溝を有することにより、両溝により挟まれた薄い結晶部分が前記電界が結合する部分として構成され、前記一对の電極は、前記両溝の底部に所定の厚さで形成され、少なくとも、前記両溝の、前記一对の電極部分以外の残
15 りの部分は、誘電体で満たされていることを要旨とする。

第５の態様に係る発明は、第４の態様に係る発明において、前記両溝は、前記一对の側面において、前記光が入射し出射する両端面に渡って形成されていることを要旨とする。

20 第６の態様に係る発明は、第４の態様に係る発明において、前記両溝は、前記一对の側面において、前記光が入射し出射する両端面の間の両端部を除いた中央部のみに形成されていることを要旨とする。

第７の態様に係る発明は、第４の態様乃至第６の態様に係る発明において、前記両溝の、前記一对の電極部分
25

以外の残りの部分は、誘電体で満たされていると共に、前記光が入射し出射する両端面以外の部分の全体が更なる誘電体で覆われていることを要旨とする。

第 8 の態様に係る発明は、第 4 の態様乃至第 7 の態様に係る発明において、前記誘電体は、ワックスであることを要旨とする。

また、上記目的を達成するため、第 9 の態様に係る発明は、結合電界により複屈折率が変化する電気光学結晶と、この電気光学結晶に対して電界を結合させるために該電気光学結晶を挟んで配設される一対の電極とを有し、この一対の電極を介して電界が結合されることにより、その電界強度に応じた前記複屈折率の変化に応じて一対の電極間に入射される光の偏光を変化させる電気光学変調素子であって、ベース部と、前記ベース部の一側面上で突出し前記入射する光の方向に延設され、少なくともその一部が前記電気光学結晶で構成されると共に、その幅が所定値以下であるリッジ状のリッジ部と、を備え、前記一対の電極は、前記リッジ部の幅方向で対向する一対の側面上に形成されることを要旨とする。

第 10 の態様に係る発明は、第 9 の態様に係る発明において、前記リッジ部は、前記光の入射する方向から見て、前記ベース部の前記一側面上の略中央に形成されていることを要旨とする。

第 11 の態様に係る発明は、第 9 の態様に係る発明において、前記リッジ部は、前記光の入射する方向から見

て、前記ベース部の前記一側面上の端に形成されていることを要旨とする。

第 1 2 の態様に係る発明は、第 9 の態様に係る発明において、全体を覆う誘電体を更に有することを要旨とする。
5

第 1 3 の態様に係る発明は、第 9 の態様に係る発明において、前記リッジ部を覆う誘電体を更に有することを要旨とする。

第 1 4 の態様に係る発明は、第 9 の態様に係る発明において、前記リッジ部の上面と、その上面と面一になっている前記一对の電極の側面とを覆う誘電体を更に有することを要旨とする。
10

第 1 5 の態様に係る発明は、第 1 2 の態様乃至第 1 4 の態様に係る発明において、前記誘電体は、ワックスであることを要旨とする。
15

第 1 6 の態様に係る発明は、第 9 の態様に係る発明において、前記リッジ部の、前記一对の電極が形成される前記一对の側面以外の一对の側面のうちの前記ベース側の側面の少なくとも近傍に、前記電気光学結晶の屈折率よりも低い屈折率を有する低屈折率媒質を備えていることを要旨とする。
20

第 1 7 の態様に係る発明は、第 1 6 の態様に係る発明において、前記リッジ部が前記電気光学結晶で構成され、前記ベース部が前記低屈折率媒質で構成されていることを要旨とする。
25

第 1 8 の態様に係る発明は、第 1 6 の態様に係る発明において、前記リッジ部と前記ベース部の上部とが前記電気光学結晶で構成され、前記ベース部の残りの下部が前記低屈折率媒質で構成されていることを要旨とする。

5 第 1 9 の態様に係る発明は、第 1 6 の態様に係る発明において、前記ベース部と前記リッジ部の下部とが前記低屈折率媒質で構成され、前記リッジ部の残りの上部が前記電気光学結晶で構成されていることを要旨とする。

第 2 0 の態様に係る発明は、第 1 7 の態様乃至第 1 9
10 項の態様に係る発明において、前記低屈折率媒質は、前記電気光学結晶とは同種類元素で構成されるもののその組成比の違いに基づく屈折率の低い電気光学結晶であることを要旨とする。

第 2 1 の態様に係る発明は、第 1 6 の態様に係る発明
15 において、前記リッジ部が前記電気光学結晶で構成され、前記ベース部の上部が接着剤で構成され、前記ベース部の残りの下部が基板で構成されていることを要旨とする。

第 2 2 の態様に係る発明は、第 1 6 の態様に係る発明
20 において、前記リッジ部と前記ベース部の上部とが前記電気光学結晶で構成され、前記ベース部の前記電気光学結晶の下部が接着剤で構成され、前記ベース部の残りの下部が基板で構成されていることを要旨とする。

第 2 3 の態様に係る発明は、第 1 6 の態様に係る発明
25 において、前記ベース部が基板で構成され、前記リッジ部の下部が接着剤で構成され、前記リッジ部の残りの上

部が前記電気光学結晶で構成されていることを要旨とする。

第24の態様に係る発明は、第16の態様に係る発明において、前記低屈折率媒質は、前記ベース部の上部に
5 設けられた空洞内の気体又は真空状態であることを要旨とする。

第25の態様に係る発明は、第9の態様に係る発明において、前記リッジ部は前記電気光学結晶で構成され、前記ベース部は周期構造を有するフォトリソニック結晶で構成
10 されていることを要旨とする。

また、上記目的を達成するため、第26の態様に係る発明は、結合電界により複屈折率が変化する電気光学結晶と、この電気光学結晶に対して電界を結合させるために該電気光学結晶を挟んで配設される一対の電極とを有
15 し、この一対の電極を介して電界が結合されることにより、その電界強度に応じた前記複屈折率の変化に応じて一対の電極間に入射される光の偏光を変化させる電気光学変調素子であって、前記光が入射し出射する両端面上を除いて、前記電気光学結晶と前記一対の電極とを相対
20 的に固定するように塗布される誘電体を更に備えることを要旨とする。

第27の態様に係る発明は、第26の態様に係る発明において、前記誘電体は、粘性を有しかつ時間経過と共に固まる性質をもつ物質であることを要旨とする。

図面の簡単な説明

図 1 は、従来の電界センサの動作説明図である。

図 2 A 乃至 2 C は、電気光学結晶を用いて電気光学変調素子を制作する過程を説明するための図である。

5 図 3 A 及び 3 B は、本発明の一実施形態に係わる電気光学変調素子を示す部分透視斜視図及び断面図である。

図 4 A 乃至 4 D は、図 3 A に示すように構成される電気光学変調素子の製造工程を示す図である。

10 図 5 A 及び 5 B は、本発明の他の実施形態に係わる電気光学変調素子を示す部分透視斜視図及び断面図である。

図 6 A 乃至 6 D は、図 5 A に示すように構成される電気光学変調素子の製造工程を示す図である。

図 7 A 及び 7 B は、本発明の他の実施形態に係わる電気光学変調素子を示す部分透視斜視図及び断面図である。

15 図 8 A 乃至 8 D は、図 7 A に示すように構成される電気光学変調素子の製造工程を示す図である。

図 9 A 乃至 9 C は、図 7 A 及び 7 B に示した実施形態の電気光学変調素子の構造の、図 7 B に対して直角方向から見た縦断面図、及び他の隅部の構造を示す縦断面図
20 である。

図 10 A 乃至 10 D は、本発明の他の実施形態に係わる電気光学変調素子の製造工程を示す断面図である。

図 11 は、図 10 D に示す電気光学変調素子において電気光学結晶上に残った不要な金属からなる電極を除去
25 した図である。

図 1 2 A 乃至 1 2 D は、本発明の他の実施形態に係わる電気光学変調素子の製造工程を示す断面図である。

図 1 3 は、リッジ型の実施形態の電気光学変調素子の光の入射面を示す図である。

5 図 1 4 A 及び 1 4 B は、フォトリソグラフィを用いたリッジ型の電気光学変調素子を説明するための図である。

図 1 5 は、リッジ型の他の実施形態の電気光学変調素子の光の入射面を示す図である。

10 図 1 6 は、リッジ型の他の実施形態の電気光学変調素子の光の入射面を示す図である。

図 1 7 A 及び 1 7 B は、リッジ型の他の実施形態の電気光学変調素子の光の入射面を示す図である。

図 1 8 A 乃至 1 8 E は、台座に縦置きにされた電気光学結晶に対するワックス塗布の態様を示す図である。

15 図 1 9 は、電気光学結晶にワックスを塗布しない場合と、電気光学結晶の上面にワックスを塗布した場合と、電気光学結晶の上面から両方の電極へ、更に台座へワックスを塗布した場合の、電界センサの出力特性の違いを示す図である。

20 図 2 0 A 乃至 2 0 E は、台座に横置きにされた電気光学結晶に対するワックス塗布の態様を示す図である。

図 2 1 A 及び 2 1 B は、いわゆる H 型の電気光学変調素子にワックスを塗布する態様を示す図である。

25 図 2 2 A 乃至 2 2 C は、いわゆるリッジ型の電気光学変調素子にワックスを塗布する態様を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を用いて本発明の実施の形態を説明する。

図 3 A 及び 3 B は、本発明の一実施形態に係わる電気
5 光学変調素子をそれぞれ示す部分透視斜視図及び断面図
である。

図 3 A 及び 3 B に示す実施形態の電気光学変調素子は、
側面 1 a とそれに対向する側面 1 b のそれぞれの長手方
向に端面 1 c から端面 1 d に渡って掘られて形成されて
10 いる一对の溝部を有する電気光学結晶 1 と、その一对の
溝部に埋設されている金属からなる一对の電極 5 a , 5
b と、で構成されている。尚、図 3 B に示すように、一
対の溝部のそれぞれの断面形状は矩形であり、また、一
対の電極 5 a , 5 b は、それぞれの溝部をほぼ完全に埋
15 めている。言い換えれば、図 3 B に示すように、電気光
学結晶 1 と一对の電極 5 a , 5 b とを併せて、本実施形
態の電気光学変調素子の断面形状は矩形である。また、
本実施形態の電気光学変調素子は、その電気光学結晶 1
の断面形状から「H型」と称されることがある。

20 尚、一对の電極 5 a , 5 b の間の距離 d が所定の距離
以下になるようにするため、一对の溝部は、互いの底部
が近接するように両側面 1 a , 1 b を切削や研磨などで
掘り下げるなどして形成されている。このように形成さ
れる電気光学変調素子の寸法は、例えば電極 5 a , 5 b
25 間の距離 d が 0 . 1 m m 以下、長さ L が約 2 c m 、断面

の縦及び横方向の寸法 t 及び x がそれぞれ約 1 cm 以下である。

このように構成される電気光学変調素子では、一對の電極 $5a$ 、 $5b$ 間の距離 d を極めて薄く形成したとしても、電極 $5a$ 、 $5b$ は全体として電気光学結晶 1 に形成された溝部をほぼ完全に埋めるように形成されていると共に、電極 $5a$ 、 $5b$ 間の薄い結晶部分は電極 $5a$ 、 $5b$ と電気光学結晶 1 とで全体的に覆われるように形成されているため、電気光学結晶 1 が薄い電極 $5a$ 、 $5b$ 部分から壊れ易いということがないと共に、電極 $5a$ 、 $5b$ 間の薄い構造も原材料の電気光学結晶 1 を両側面 $1a$ 、 $1b$ から切削や研磨などにより形成されるため、電極 $5a$ 、 $5b$ 間を極めて薄く、例えば 0.1 mm 以下に加工することも困難なことではない。

また、図 3 B に示すように、電極 $5a$ 、 $5b$ 間の電気光学結晶 1 の端面からスポットビーム 123 が入射されるが、この入射面を無反射コーティングすること、電極 $5a$ 、 $5b$ 間の薄い結晶部分の端面のみでなく、この部分以外の電気光学結晶 1 の端面、電極 $5a$ 、 $5b$ の端面などを含む矩形の電気光学変調素子全体の端面 $1c$ として無反射コーティングを施すことにより、無反射コーティングを極めて容易かつ確実に行うことが可能である。

また、電極 $5a$ 、 $5b$ 、及び電極 $5a$ 、 $5b$ 間の薄い結晶部分は、電気光学結晶全体で固定されていることとなるので、薄い結晶部分の歪みが抑えられ、周波数特性

が平坦になるという効果もある。尚、このように構成される電気光学変調素子において、電極 5 a、5 b により生じる電界ベクトルの方向は、電極 5 a、5 b の向かい合う面に垂直な方向である。

5 次に、図 3 A 及び 3 B に示すように構成される電気光学変調素子の製造方法について図 4 A 乃至 4 D を参照して説明する。この電気光学変調素子は、例えば図 2 A に示すような矩形の原材料の電気光学結晶 1 をまず図 4 A に示すように、その両側面 1 a、1 b から切削や研磨などにより掘り下げて、2 個の溝部 3 a、3 b を形成する。

それから、図 4 B に示すように、溝部 3 a、3 b 内に符号 5 a a、5 b a で示すように銀ペーストなどの金属を薄く塗って、薄い電極 5 a a、5 b a を形成する。次に、図 4 C に示すように、電極 5 a a、5 b a のそれぞれに電圧を印加するためのリード線 5 3 を接着する。

これにより電気光学変調素子は形成されるが、この例では、電極 5 a a、5 b a は薄い構造のものとなっているが、図 3 A に示すような電気光学変調素子にして強度を増大するためには、図 4 D に示すように、銀ペーストからなる電極 5 a a、5 b a の上に更に銀ペーストを塗って、隙間を埋め、これにより図 3 A に示すものと同じ厚さの電極 5 a、5 b を有する電気光学変調素子が完成する。

図 5 A 及び 5 B は、本発明の他の実施形態に係わる電気光学変調素子をそれぞれ示す部分透視斜視図及び断面

図である。

図 5 A 及び 5 B に示す実施形態の電気光学変調素子は、
図 3 A 及び 3 B に示した実施形態の電気光学変調素子に
おいて溝部 3 a、3 b 内に全体的に形成される電極 5 a、
5 5 b の代わりに、溝部 3 a、3 b 内の各底部に溝の深さ
よりも薄い所定の厚さ以下で全面的に薄い電極 7 a、7
b を形成し、この薄い電極 7 a、7 b の上に残されてい
る溝部を埋めるように誘電体 9 a、9 b を形成し、これ
により電気光学変調素子全体として一体化するように構
10 成しているものである。

このように構成される電気光学変調素子では、一対の
電極 7 a、7 b 間の距離を極めて薄く形成したとしても、
電極 7 a、7 b は誘電体 9 a、9 b と共に全体として電
気光学結晶 1 に形成された溝部 3 a、3 b をほぼ完全に
15 埋めるように形成されていると共に、電極 7 a、7 b 間
の薄い結晶部分は電極 7 a、7 b、誘電体 9 a、9 b、
電気光学結晶 1 とで全体的に覆われるように形成されて
いるため、電気光学結晶 1 が薄い電極 7 a、7 b 部分か
ら壊れ易いということがないと共に、電極 7 a、7 b 間
20 の溝部 3 a、3 b 間の薄い結晶構造も原材料の電気光学
結晶 1 を両側面 1 a、1 b から切削や研磨などで掘り下
げるなどして形成されるため、電極 7 a、7 b 間を極め
て薄く、例えば 0.1 mm 以下に加工することも困難な
ことではない。

25 また、図 5 B に示すように、電極 7 a、7 b 間の電気

光学結晶 1 の端面からスポットビーム 1 2 3 が入射されるが、この入射面を無反射コーティングすること、電極 7 a、7 b 間の薄い結晶部分の端面のみでなく、この部分以外の電気光学結晶 1 の端面、電極 7 a、7 b の端面、誘電体 9 a、9 b の端面などを含む矩形の電気光学変調素子全体の端面 1 c として無反射コーティングを施すことにより、無反射コーティングを極めて容易かつ確実に行うことが可能である。

また、電極 7 a、7 b、及び電極 7 a、7 b 間の薄い結晶部分は、電気光学結晶全体や誘電体 9 a、9 b で固定されていることになるので、薄い結晶部分の歪みが抑えられ、周波数特性が平坦になるという効果もある。尚、このように構成される電気光学変調素子において、電極 7 a、7 b により生じる電界ベクトルの方向は、電極 7 a、7 b の向かい合う面に垂直な方向である。

次に、図 5 A 及び 5 B に示すように構成される電気光学変調素子の製造方法について図 6 A 乃至 6 D を参照して説明する。この電気光学変調素子は、例えば図 2 A に示すような矩形の原材料の電気光学結晶 1 をまず図 6 A に示すように、その両側面 1 a、1 b から切削や研磨などにより掘り下げて、2 個の溝部 3 a、3 b を形成する。

それから、図 6 B に示すように、溝部 3 a、3 b 内に銀ペーストなどの導電材を薄く塗って、電極 7 a、7 b を形成する。次に、図 6 C に示すように、電極 7 a、7 b のそれぞれに電圧を印加するためのリード線 5 3 を接

着する。尚、ここまでの製造工程は図 4 A 乃至 4 C で示したものと同じである。

次に、図 6 D に示すように、リード線 5 3 を接着された薄い電極 7 a、7 b 上の溝部内を誘電体 9 a、9 b で
5 隙間なく埋める。尚、このように隙間なく埋めるためには、誘電体 9 a、9 b として例えば接着材のようなものが適している。

図 7 A 及び 7 B は、本発明の他の実施形態に係わる電気光学変調素子を示す部分透視斜視図及び断面図である。

10 図 7 A 及び 7 C に示す実施形態の電気光学変調素子は、図 5 A 及び 5 B に示した実施形態の電気光学変調素子において一対の電極 7 a、7 b、この電極 7 a、7 b 間の薄い電気光学結晶、及び誘電体 9 a、9 b からなるサンドウィッチ構造を端面 1 c から端面 1 d に渡って形成する代わりに、端面 1 c から端面 1 d の間の端部を除いた
15 中央部のみにかかるサンドウィッチ構造を有するように構成しているものである。言い換えれば、図 5 A 及び 5 B に示した実施形態の溝部 3 a、3 b の代わりに、周囲が電気光学結晶で囲まれた凹部 4 a、4 b が形成され、
20 この凹部 4 a、4 b 内に上記サンドウィッチ構造が構成されている。その他の構造及び作用は図 5 A 及び 5 B に示した実施形態と同じである。

このように構成される電気光学変調素子では、一対の電極 7 a a、7 b a 間の距離を極めて薄く形成したとしても、電極 7 a a、7 b a は誘電体 9 a a、9 b a と共
25

に全体として電気光学結晶 1 に形成された凹部 4 a、4 b をほぼ完全に埋めるように形成されていると共に、電極 7 a a、7 b a 間の薄い結晶部分は電極 7 a a、7 b a、誘電体 9 a a、9 b a、電気光学結晶 1 とで全体的に覆われるように形成されているため、電気光学結晶 1 が薄い電極 7 a a、7 b a 部分から壊れ易いということがないと共に、電極 7 a a、7 b a 間の凹部 4 a、4 b 内の薄い結晶構造も原材料の電気光学結晶 1 を両側面 1 a、1 b から切削や研磨などで掘り下げるなどして形成されるため、電極 7 a a、7 b a 間の距離 d を極めて薄く、例えば 0.1 mm 以下に加工することも困難なことではない。

また、図 7 B に示すように、電極 7 a a、7 b a 間の電気光学結晶 1 の端面に対してその外側を全体的に覆っている電気光学結晶 1 の端面からスポットビーム 1 2 3 が入射されるが、この入射面を無反射コーティングすることも、電気光学結晶 1 の端面全体に対して無反射コーティングを施すことになるため、無反射コーティングを極めて容易かつ確実に行うことが可能である。

また、電極 7 a a、7 b a、及び電極 7 a a、7 b a 間の薄い結晶部分は、電気光学結晶全体や誘電体 9 a a、9 b a で固定されていることになるので、薄い結晶部分の歪みが抑えられ、周波数特性が平坦になるという効果もある。尚、このように構成される電気光学変調素子において、電極 7 a a、7 b a により生じる電界ベクトル

の方向は、電極 7 a a、5 b a の向かい合う面に垂直な方向である。

次に、図 7 A 及び 7 B に示すように構成される電気光学変調素子の製造方法について図 8 A 乃至 8 D を参照して説明する。この製造方法は、図 6 A 乃至 6 D で説明した図 5 A 及び 5 B の電気光学変調素子の製造方法とほぼ同じように、まず矩形の原材料の電気光学結晶をまず図 8 A に示すように、その両側面 1 a、1 b から切削や研磨などにより掘り下げて、2 個の溝状に形成された凹部 4 a、4 b を形成する。

それから、図 8 B に示すように、凹部 4 a、4 b 内に銀ペーストなどの導電材を薄く塗って、電極 7 a a、7 b a を形成する。次に、図 8 C に示すように、電極 7 a a、7 b a に電圧を印加するためのリード線 5 3 を接着する。

次に、図 8 D に示すように、リード線 5 3 を接着された薄い電極 7 a a、7 b a 上の凹部内を誘電体 9 a a、9 b a で隙間なく埋める。尚、このように隙間なく埋めるためには、誘電体 9 a a、9 b a として例えば接着材のようなものが適している。上述したように、図 7 A 及び 7 B の電気光学変調素子は、溝が凹部であることを除いて、図 5 A 及び 5 B の電気光学変調素子と同じ製造方法で製造することができるが、電気光学結晶に形成される凹部 4 a、4 b は、その各辺が直角である必要はなく、次に説明する図 9 B 及び 9 C のように傾斜したり、湾曲

していてもよい。

図 9 A は、図 7 A 及び 7 B に示した実施形態の電気光学変調素子の構造の、図 7 B に対して直角方向から見た縦断面図である。同図に示すように、一对の電極 7 a a、
5 7 b a、誘電体 9 a a、9 b a が埋め込まれている凹部 4 a、4 b の底部のすべての隅部 1 1 は、ほぼ直角に形成されている。

これに対して、図 9 B 及び 9 C は、他の隅部の構造を示す縦断面図であるが、図 9 B の場合は、凹部 4 a a、
10 4 b a の底部のすべての隅部は直角よりも大きな鈍角に傾斜して形成され、図 9 C の場合は、凹部 4 a b、4 b b の底部のすべての隅部は角張らずに丸く、湾曲して形成されている。尚、これらの場合でも、凹部を導電材のみで埋めて電極とする構成としてもよい。

15 尚、上記各実施形態では両側面に溝を設けた場合について説明したが、一側の面だけでも良いのはいうまでもない。

図 1 0 A 乃至 1 0 D は、本発明の他の実施形態に係わる電気光学変調素子の製造工程を示す断面図である。

20 図 1 0 A 乃至 1 0 D に示す実施形態の電気光学変調素子は、最終的には図 1 0 D に示すように、電気光学結晶 1 の上面に例えば 0 . 1 m m 以下のような所定の幅 d 以下で突出して形成されたリッジ部 2 1 と、このリッジ部 2 1 の幅方向で対向する一对の側面に形成される一对の
25 電極 2 5 a、2 5 b とから構成される。

このような構造の電気光学変調素子を製造するには、まず図 10 A に示すような原材料の電気光学結晶 1 に対して、図 10 B に示すように、電気光学結晶 1 の上面を切削又は研磨などして、例えば 0.1 mm 以下のような所定の幅 d 以下のリッジ部 21 を形成するように電気光学結晶を加工する。

それから、図 10 C に示すように、リッジ部 21 の形成されている電気光学結晶 1 の上面に対してリッジ部 21 を含んで金属 23 を蒸着又は塗布する。次に、図 10 D に示すように、リッジ部 21 上に蒸着された金属 23 のみ研磨などで除去し、これによりリッジ部 21 の両側面に残された金属で一对の電極 25 a、25 b を形成する。

このように構成される電気光学変調素子では、一对の電極 25 a、25 b 間の距離を極めて薄く形成したとしても、電極 25 a、25 b は全体として大きな電気光学結晶 1 上に突出した部分に形成されているため、電極 25 a、25 b 間の電気光学結晶が壊れ易いということがないと共に、電気光学結晶 1 の上面を加工及び金属蒸着して形成しているため、リッジ部 21 である電極 25 a、25 b 間の部分の距離 d を極めて薄く、例えば 0.1 mm 以下に加工することも困難なことではない。

また、図 10 D に示すように、電極 25 a、25 b 間の電気光学結晶 1 の端面からスポットビーム 123 が入射されるが、この入射面を無反射コーティングすること

も、電極 2 5 a、2 5 b 間の薄い結晶部分の端面のみでなく、この部分の下側に一体的に形成されている電気光学結晶 1 の端面を含む電気光学変調素子全体の端面に対して全体的に無反射コーティングを施すことにより、無
5 反射コーティングを極めて容易かつ確実に行うことが可能である。尚、このように構成される電気光学変調素子において、電極 2 5 a、2 5 b により生じる電界ベクトルの方向は、電極 2 5 a、2 5 b の向かい合う面に垂直な方向である。

10 尚、図 1 0 D に示すように、リッジ部 2 1 上に蒸着された金属 2 3 のみを研磨などで除去し、リッジ部 2 1 の両側面に残された金属で一对の電極 2 5 a、2 5 b を形成した場合に、リッジ部 2 3 を挟んで対向する側面以外に電気光学結晶 1 の上面にも金属 2 3 が残り、この部分
15 も電極として作用するが、この部分の電極間に発生する不要な電界は極めて少なく、大多数はリッジ部 2 1 の対向する電極 2 5 a、2 5 b 間に発生する。

しかしながら、上記金属の残った部分に形成される電極間に発生する僅かであるか不要な電界を除去するため
20 に、例えば図 1 1 に示すように、この部分の金属を除去すれば、このような不要な電界の発生を回避することができる。一方、その部分の金属を取って除去しなければ、逆に機械的強度が増すという利点がある。

図 1 2 A 乃至 1 2 D は、本発明の他の実施形態に係わる電気光学変調素子の製造工程を示す断面図である。
25

図 1 2 A 乃至 1 2 D に示す実施形態の電気光学変調素子は、最終的には図 1 2 D に示すように、電気光学結晶 1 の上面の一端に例えば 0.1 mm 以下のような所定の幅 d 以下で突出して形成されたリッジ部 2 1 a と、この
5 リッジ部 2 1 a の幅方向で対向する一对の側面に形成される一对の電極 2 9 a、2 9 b とから構成される。

このような構造の電気光学変調素子を製造するには、まず図 1 2 A に示すような原材料の電気光学結晶 1 に対して、図 1 2 B に示すように、電気光学結晶 1 の上面を
10 切削又は研磨などして、例えば 0.1 mm 以下のような所定の幅 d 以下のリッジ部 2 1 a を形成するように電気光学結晶を加工する。

それから、図 1 2 C に示すように、リッジ部 2 1 a の形成されている電気光学結晶 1 の上面とリッジ部 2 1 a
15 の形成されている側の側面に対してリッジ部 2 1 a を含んで金属 2 7 を蒸着する。次に、図 1 2 D に示すように、リッジ部 2 1 a 上に蒸着された金属 2 7 のみ研磨などで除去し、これによりリッジ部 2 1 a の両側面に残された金属で一对の電極 2 9 a、2 9 b を形成する。

20 このように構成される電気光学変調素子では、一对の電極 2 9 a、2 9 b 間の距離を極めて薄く形成したとしても、図 1 0 D に示された実施形態と同様、電極 2 9 a、2 9 b は全体として大きな電気光学結晶 1 上に突出した部分に形成されているため、電極 2 9 a、2 9 b 間の電気光学結晶が壊れ易いということがないと共に、電気光
25

学結晶 1 の上面を加工及び金属蒸着して形成しているため、リッジ部 2 1 a にある電極 2 9 a、2 9 b 間の部分の距離 d を極めて薄く、例えば 0.1 mm 以下に加工することも困難なことではない。

5 また、図 1 2 D に示すように、電極 2 5 a、2 5 b 間の電気光学結晶 1 の端面からスポットビーム 1 2 3 が入射されるが、この入射面を無反射コーティングすること
10 も、電極 2 9 a、2 9 b 間の薄い結晶部分の端面のみでなく、この部分の下側に一体的に形成されている電気光学結晶 1 の端面を含む電気光学変調素子全体の端面に対して全体的に無反射コーティングを施すことにより、無
15 反射コーティングを極めて容易かつ確実に行うことが可能である。尚、このように構成される電気光学変調素子において、電極 2 9 a、2 9 b により生じる電界ベクトル
15 の方向は、電極 2 9 a、2 9 b の向かい合う面に垂直な方向である。

 尚、図 1 2 D に示すように、リッジ部 2 1 a 上に蒸着された金属 2 7 のみを研磨などで除去し、リッジ部 2 1 a の部分の両側面に残された金属で一对の電極 2 9 a、
20 2 9 b を形成した場合に、電気光学結晶 1 の上面と、リッジ部 2 1 a を挟んで対向する側面以外の側面にも金属 2 7 が残り、この部分も電極として作用するが、この部分の電極間に発生する不要な電界は極めて少なく、大多数はリッジ部 2 1 a の対向する電極 2 9 a、2 9 b 間に
25 発生する。

この場合も、電気光学結晶 1 の上面と、リッジ部 2 1 a を挟んで対向する側面以外の側面の金属を除去すれば、図 1 1 に示す場合と同様、不要な電界の発生を回避することができる。

5 ところで、図 1 0 D、図 1 1 及び図 1 2 D に示した形態において、長さ L を大きくして大きな位相変調度及び電界感度を得ようとした場合には、光の回折効果がその妨げになる。つまり、L が小さい場合には、光が回折しても、電気光学結晶の端面から出射するので光の損失は
10 ないが、L を大きくした場合には、回折した光がリッジ部 2 1 (2 1 a) から外れる方向に進行する。

図 1 0 D、図 1 1 及び図 1 2 D に示した電界光学変調素子において、リッジ部 2 1 (2 1 a) 上面は空気に接しており、また両側面は電極に接しているので、これら
15 の面では反射が起こり、よって光が漏れることはない。

しかし、リッジ部 2 1 (2 1 a) の下方はリッジ部 2 1 (2 1 a) と同じく電気光学結晶 1 で構成されているのでリッジ部 2 1 (2 1 a) からの光の漏れが生じる。そのため、電気光学結晶の長さを長くする場合には、長さ
20 相当の大きな位相変調度及び電界感度を得ることができない。

以下、図 1 0 D、図 1 1 及び図 1 2 D に示したような電界光学変調素子において電気光学結晶の長さを長くする場合にも、長さ相当の大きな位相変調度及び電界感度
25 を得る実施形態を説明する。

図 1 3 は、リッジ型の実施形態に係る電気光学変調素子の光の入射面を示す図である。

この実施形態の電気光学変調素子は、電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶 6 1 と、電気光学結晶 6 1 の屈折率より小さい屈折率を有する低屈折率媒質 6 2 とを備える。低屈折率媒質 6 2 の屈折率は電気光学結晶 6 1 の屈折率に比べて、約 1 0 % 以上低い値であることが望ましい。例えば、電気光学結晶 6 1 の屈折率が 3 である場合には、低屈折率媒質 6 2 の屈折率を 2 . 7 以下にすればよい。また一般に、電気光学結晶 6 1 と低屈折率媒質 6 2 の屈折率差は大きいほど好ましい。電気光学結晶 6 1 は、例えば、GaAs（ガリウム砒素）やInP（インジウムリン）やCdTe（カドミウムテルル）やZnTe（ジンクテルル）などで構成される。

また、この実施形態の電気光学変調素子は、ベース部 6 3 と、ベース部 6 3 の上面 6 3 a に少なくとも電気光学結晶 6 1 を含んで細く（例えば、厚さ $d = 0.1 \text{ mm}$ 程度に）形成され且つ上面 6 1 a を外気（例えば空気）に露出させたリッジ部 6 4 と、リッジ部 6 4 の対向する各側面 6 4 a , 6 4 b からベース部 6 3 の上面 6 3 a に渡って設けられた、横断面が L 字状の電極 6 5 a , 6 5 b とを備えている。そして、上面 6 1 a の上方の外気と低屈折率媒質 6 2 とが電気光学結晶 6 1 を挟む構成となっている。

この実施形態の電気光学変調素子では、各側面 6 4 a ,

6 4 b からベース部 6 3 の上面 6 3 a に渡って L 字状の電極 6 5 a , 6 5 b を設けたので、電極 6 5 a , 6 5 b をそれぞれ側面 6 4 a , 6 4 b に設けた場合よりも機械的強度が向上する。例えば、ベース部 6 3 とリッジ部 6 4 が分離してしまったり、リッジ部 6 4 の一部が損壊する可能性を低減できる。

また、この実施形態の電気光学変調素子では、電気光学結晶 6 1 のビームスポット B S から入射した光は、例えば、上方（正の y 方向）に回折した場合には、上面 6 1 a の上方の外気に反射して電気光学結晶 6 1 内に戻される。また、光は、例えば、下方（負の y 方向）に回折した場合には、低屈折率媒質 6 2 に反射して電気光学結晶 6 1 内に戻される。電極 6 5 a や 6 5 b においても、同様に反射が起きる。すなわち、この実施形態の電気光学変調素子には光導波路が構成されていることになる。このとき、電気光学結晶 6 1 は、光導波路のコアに相当し、低屈折率媒質 6 2 は、光導波路のクラッドに相当する。このように、この実施形態の電気光学変調素子では、光を電気光学結晶 6 1 内に閉じこめることができる。したがって、電気光学結晶 6 1 の z 方向の長さを長くした場合であっても、回折した光が漏れるのを防止できるので、大きな位相変調度及び電界感度を得ることができる。

特に、図 1 3 の左側に示した例では、ベース部 6 3 を低屈折率媒質 6 2 で構成し、リッジ部 6 4 を電気光学結晶 6 1 で構成したことで、後述する中央の例や右側の例

よりも、構造を単純にすることができ、よって電気光学変調素子の製造が容易になる。例えば、ベース部 6 3 とリッジ部 6 4 とを別々に製造したあとで結合することが容易に行える。後述する中央の例のように、低屈折率媒質 6 2 に突出部が形成されておらず、ベース部 6 3 とリッジ部 6 4 の損壊の可能性を低くできる。

また、図 1 3 の中央に示した例では、リッジ部 6 4 の下部を低屈折率媒質 6 2 で構成している。低屈折率媒質 6 2 の屈折率が電気光学結晶 6 1 の屈折率に比べてそれほど小さくない場合には、低屈折率媒質 6 2 への光の染み出しが比較的大きくなる。この例では、この染み出した光に対しても電界が結合されるので、リッジ部 6 4 の下部を構成する低屈折率媒質 6 2 が電気光学効果を有する場合には、検出感度を高めることができる。また、この例では、染み出した光に対して電極 6 5 a、6 5 b が正対していない左側の例や右側の例で起きるような感度の低下がない。

また、図 1 3 の右側に示した例では、ベース部 6 3 の上部を電気光学結晶 6 1 で構成したことで、電気光学結晶 6 1 が大きくなる。特に、上方からの投影面積が大きくなる。これにより、左側の例や中央の例の場合よりも電気光学変調素子の機械強度を高めることができる。感度の向上のためにリッジ部 6 4 はできるだけ細く形成されるが、この右側の例ではリッジ部 6 4 を構成する電気光学結晶 6 1 が全体として大きくなることで、リッジ部

6 4 の取り扱いが容易になるので、例えば、電気光学結晶 6 1 の端面に無反射コーティングを施す作業が容易に行える。

尚、上記実施形態の低屈折率媒質 6 2 に代えて、周期構造を有するフォトリック結晶を用いることも可能である。フォトリック結晶とは光の波長オーダーの周期構造を有する材料の総称であり、周期構造を有する領域には光を進入させない性質がある。

図 1 4 A に示すように、フォトリック結晶 7 1 からなる媒質を用いるときは、周期構造の無い領域と周期構造を有する領域とからなる電気光学結晶を切削加工することにより、周期構造の無い領域からなるリッジ部 7 1 a と周期構造の有る領域からなるベース部 7 1 b とからなる電気光学変調素子を構成することができる。

また、図 1 4 B に示すように、電気光学結晶 7 3 と周期構造を有するフォトリック結晶 7 5 とを接着剤 7 7 で接着した後に前者の方を切削することで電気光学変調素子を構成してもよい。

図 1 5 は、リッジ型の他の実施形態の電気光学変調素子の光の入射面を示す図である。

この実施形態の電気光学変調素子は、前述の実施形態の低屈折率媒質を構成する元素の種類と電気光学結晶を構成する元素の種類を同じとし、元素の組成比の違いにより屈折率が異なるようにしたものである。その他の構成、各例による違い及び作用効果は、前述の実施形態の

電気光学変調素子のものと変わらないので説明を省略する。

この実施形態の電気光学変調素子では、低屈折率媒質を構成する元素の種類と電気光学結晶を構成する元素の種類を同じとしたので、結晶成長プロセスで低屈折率媒質を形成した後で元素の組成比を変えるだけで、電気光学結晶を連続的に形成することができる。これにより、高屈折率層と低屈折率層とからなる一体的な電気光学結晶 6 1 A が得られる。また、電気光学結晶と低屈折率媒質を別々に製造して結合する場合よりも製造が容易となる。また、低屈折率媒質や電気光学結晶の厚さの調整が容易に行える。また、低屈折率媒質と電気光学結晶との境界面を理想的な平面に近づけることができるので、この境界面に凹凸が多い場合に比べて光の漏れを少なくできる。

図 1 6 は、リッジ型の他の実施形態の電気光学変調素子の光の入射面を示す図である。

この実施形態の電気光学変調素子は、電気光学結晶 6 1 と該電気光学結晶 6 1 の屈折率より小さい屈折率を有する低屈折率媒質として接着剤 6 2 a とを備える。

また、この実施形態の電気光学変調素子は、ベース部 6 3 と、ベース部 6 3 の上面 6 3 a に少なくとも電気光学結晶 6 1 を含んで細く形成され且つ上面 6 1 a を電気光学結晶 6 1 の上面 6 1 a を外気に露出させたリッジ部 6 4 と、リッジ部 6 4 の対向する各側面 6 4 a , 6 4 b

からベース部 6 3 の上面 6 3 a に渡って設けられた L 字状の電極 6 5 a , 6 5 b とを備えている。また、上面 6 1 a の上方の外気と接着剤 6 2 a とが電気光学結晶 6 1 を挟む構成となっている。

5 尚、この実施形態の電気光学変調素子においても、各側面 6 4 a , 6 4 b からベース部 6 3 の上面 6 3 a に渡って L 字状の電極 6 5 a , 6 5 b を設けたので、電極 6 5 a , 6 5 b をそれぞれ側面 6 4 a , 6 4 b にだけ設けた場合よりも、機械的強度が向上する。

10 また、この実施形態の電気光学変調素子においても、光導波路が構成されていることになるので、光を電気光学結晶 6 1 内に閉じこめることができる。したがって、電気光学結晶 6 1 の長さを長くすることにより、長さに相当する大きな位相変調度及び電界感度を得ることが可能となる。

15 また、接着剤 6 2 a によって、基板 6 6 a と電気光学結晶 6 1 を容易に結合することができる。

20 図 1 6 の左側に示した例では、ベース部 6 3 を基板 6 6 と上部の接着剤 6 2 a とで構成し、リッジ部 6 4 を電気光学結晶 6 1 で構成したことで、電極 6 5 a , 6 5 b との接触面積が広くなり、よって電極 6 5 a , 6 5 b を強固に固定できる。また、電極 6 5 a , 6 5 b の固定に他の接着剤を用いる必要がなくなる。

25 また、図 1 6 の中央に示した例では、ベース部 6 3 を基板 6 6 で構成し、リッジ部 6 4 の下部を接着剤 6 2 a

で構成したことで、他の実施形態における中央に示した例と同様の作用効果が得られる。

また、図 1 6 の右側に示した例では、ベース部 6 3 を基板 6 6 とその上部の接着剤 6 2 a と更にその上部の電気光学結晶 6 1 で構成し、リッジ部 6 4 を電気光学結晶 6 1 で構成したことで、他の実施形態における右側に示した例と同様の作用効果が得られる。

尚、上記各実施形態では、電気光学結晶 6 1 における光の経路に沿った面の 1 つである下面に低屈折率媒質 6 2 や接着剤 6 2 a を設けると共に上面 6 1 a を外気に露出させたが、上面 6 1 a にも低屈折率媒質を設けることにより、低屈折率媒質同士で電気光学結晶 6 1 を挟み込む構成としてもよい。

図 1 7 A 及び 1 7 B は、リッジ型の他の実施形態に係る電気光学変調素子の製造方法を示す図である。

この実施形態では、例えば、1 7 A に示すように、結晶成長プロセスで形成された、空洞 8 1 a を有する電気光学結晶 8 1 を切削することにより、リッジ部 8 1 b の下に空洞 8 1 a を持つ電気光学変調素子を構成することができる。

また、図 1 7 B に示すように、予めリッジ部を形成した電気光学結晶 8 3 と上部に窪みを形成したベース部 8 5 とを接着剤 8 7 で接着することにより、リッジ部の下に空洞 8 9 を持つ電気光学変調素子を構成することができる。

これらの空洞 8 1 a , 8 9 には、電気光学結晶の屈折率よりも低い屈折率を有する気体として、例えば、空気又はガスを封入することができる。また、これら空洞 8 1 a , 8 9 に外気が流入出できるようにすることができる。また、これら空洞 8 1 a , 8 9 を真空にすることができる。

尚、上述の実施形態では、図 1 0 D の場合を前提としたものを挙げたが、勿論図 1 1 の場合でも適用できるし、更に、図 1 2 D の場合でも同様に適用できる。それぞれ当業者には自明であるので、図面に基づく具体例の説明は省略する。

次に、周波数特性が平坦となる構成に係る電気光学変調素子の実施形態を説明する。

電気光学結晶と、その電気光学結晶を挟む一对の電極と、で構成された電気光学変調素子において、電気光学結晶は主に電極面に垂直な方向に歪み、それにより周波数平坦性が得られない。従って、以下、ワックス等により電気光学結晶の歪みを軽減する幾つかの実施形態を説明する。

図 1 8 A 乃至 1 8 E は、台座 1 9 に縦置きにされた電気光学結晶に対するワックス塗布の態様を示す図である。

図 1 8 A は、電気光学結晶 3 1 の上面から両方の電極 3 3 , 3 5 へワックス 3 7 を盛り、更に台座 1 9 へも盛るようにワックス 3 7 を塗布した場合を示す。この態様によれば、確実に電気光学結晶 3 1 の歪みを抑えること

ができる。また、図 1 8 B は、電気光学結晶 3 1 の上面から一方の電極 3 3 へワックス 3 7 を盛り、更に台座 1 9 へも盛るようにワックス 3 7 を塗布した場合を示す。この場合にも比較的確実に電気光学結晶 3 1 の歪みを抑
5 えることができる。無論、電極 3 5 側に盛ってもよい。また、図 1 8 C は、両方の電極 3 3 , 3 5 から台座 1 9 へ盛るようにワックス 3 7 を塗布した場合を示す。このように、電極 3 3 , 3 5 をワックス 3 7 により台座 1 9 に固定することにより、相対的に電気光学結晶 3 1 の歪
10 みを抑えることができる。図 1 8 D は、電気光学結晶 3 1 の上面にワックス 3 7 を盛るように塗布した場合を示す。このように電気光学結晶 3 1 に対して電極 3 3 , 3 5 を固定すれば、電気光学結晶 3 1 の歪みを抑えることができる。図 1 8 E は、電気光学結晶 3 1 の上面から両
15 電極 3 3 , 3 5 の上端部にかけてワックス 3 7 を盛るように塗布した場合を示す。この場合も図 1 8 D の場合と同様、電気光学結晶 3 1 の歪みを抑えることができる。尚、ビームスポット B S 又はビームスポットの面にはワックスを塗布しない。これは、光ビームがワックスによ
20 り屈折するのを防止するためである。

尚、上記各態様のいずれを選択するかは、周波数平坦性の度合いと電気光学効果の度合いとのトレードオフの観点に基づく。即ち、例えば、図 1 8 A に示した態様では、電気光学結晶 3 1 の歪みは確実に抑えられるが、電
25 気光学効果は若干落ちるという欠点がある。一方、図 1

8 D に示した態様では、電気光学結晶 3 1 の歪みは、図 1 8 A に示した態様と比べるとさほど抑えられないが、電気光学効果はそれほど落ちることはない。

図 1 9 は、電気光学結晶にワックスを塗布しない場合
5 と、図 1 8 D のように、電気光学結晶 3 1 の上面にワックス 3 7 を盛った場合と、1 8 A のように、電気光学結晶 3 1 の上面から両方の電極 3 3 , 3 5 へ、更に台座 1 9 へワックス 3 7 を盛った場合の、電界センサとしての出力特性の違いを示す図である。

10 図 1 の構成を有する電界センサでは、出力信号 1 2 2 の振幅電圧（出力振幅電圧）がフラットであることが望ましいが、ある種の電気光学結晶 3 1 を用い、それにワックス 3 7 を塗布しない場合には、5 9 0 k H z 付近と、6 1 0 k H z 付近と、7 2 0 k H z 付近に共振が見られた。
15 た。ところが、図 1 8 D のように、その電気光学結晶 3 1 の上面にワックス 3 7 を塗布すると、出力振幅電圧を維持しつつ共振を低減できる。更に、図 1 8 A のように、電気光学結晶 3 1 の上面と、両方の電極 3 3 , 3 5 にワックス 3 7 を塗布すると、出力振幅電圧が低くなるが、
20 共振を消失させることができる。

図 2 0 A 乃至 2 0 E は、台座 1 9 に横置きにされた電気光学結晶に対するワックス塗布の態様を示す図である。

図 2 0 A は、電気光学結晶 3 1 の上に配置された電極 3 3 から電気光学結晶 3 1 の両側面にワックス 3 7 を盛り、更に台座 1 9 へも盛るようにワックス 3 7 を塗布し
25

た場合を示す。この態様によれば、確実に電気光学結晶 31 の歪みを抑えることができる。また、図 20 B は、電極 33 の上面から電気光学結晶 31 の一方の側面へワックス 37 を盛り、更に台座 19 へも盛るようにワックス 37 を塗布した場合を示す。この場合にも比較的確実に電気光学結晶 31 の歪みを抑えることができる。無論、電気光学結晶 31 の他方の側面に盛ってもよい。また、図 20 C は、電気光学結晶 31 の両側面から台座 19 へ盛るようにワックス 37 を塗布した場合を示す。この場合は、電気光学結晶 31 を両電極 33, 35 に固定でき、更に台座 19 にも固定できるので、比較的確実に電気光学結晶 31 の歪みを抑えることができる。図 20 D は、電極 33 の端部から電気光学結晶 31 の両側面にワックス 37 を盛り、更に電気光学結晶 31 の両側面から台座 19 へ盛るようにワックス 37 を塗布した場合を示す。この場合も図 20 C に示す場合と同様である。図 20 E は、電気光学結晶 31 の両側面にワックス 37 を盛るように塗布した場合を示す。電気光学結晶 31 をワックス 37 により両電極 33, 35 に固定するので、電気光学結晶 31 の歪みを抑えることができる。尚、ビームスポット BS 又はビームスポット BS の面にはワックスを塗布しないので、光ビームがワックスにより屈折するのを防止するためである。

尚、上述の図 18 A 乃至 18 E 及び図 20 A 乃至 20 E の説明において、ワックスを塗布することと説明した

が、ワックスに限られることなく、他の誘電体であってもより。

図 2 1 A 及び 2 1 B は、前述のいわゆる H 型の電気光学変調素子にワックスを塗布する態様を示す図である。

5 図 2 1 A に示した態様は、図 5 A 及び 5 B に示した H 型の電気光学変調素子において誘電体 9 a , 9 b を具体的にワックス 1 0 a , 1 0 b に置き換えた態様である。即ち、台座 1 9 に載置された電気光学結晶 1 の溝部 3 a , 3 b には図 5 A 及び 5 B に示した実施形態と同様、中央
10 の薄い結晶部分を挟んで電極 7 a , 7 b が形成される。しかしながら、図 5 A 及び 5 B に示した実施形態と異なるのは、残りの溝部の部分には、誘電体 9 a , 9 b の具体例としてワックス 1 0 a , 1 0 b が埋め込まれている。

かかる態様により、中央の薄い結晶部分は、電極 7 a ,
15 7 b 、ワックス 1 0 a , 1 0 b 、及び他の電気光学結晶で完全に囲まれて固定される。従って、電極 7 a , 7 b で挟まれる結晶部分の歪みを抑えることができる。尚、図 2 1 A に示した態様は、図 5 A 及び 5 B に示した態様と同様、中央の薄い結晶部分の物理的強度を補うという
20 効果も併せ持つ。

また、図 2 1 B に示した態様は、電気光学結晶 1 の溝部 3 a , 3 b も含めて H 型の電気光学変調素子の全体をワックス 1 0 で覆い、かかる覆ったワックス 1 0 で電気光学変調素子を台座 1 9 に固定するという態様である。
25 かかる態様によっても無論、中央の薄い結晶部分歪みを

抑えることができると共に、その物理的強度を補うことができる。この場合、ワックス 10 に限らず、他の誘電体であってもよい。

図 2 2 A 乃至 2 2 C は、いわゆるリッジ型の電気光学
5 変調素子にワックスを塗布する態様を示す図である。

図 2 2 A に示す態様においては、図 1 0 D に示したリ
ッジ型の電気光学変調素子の電極を含むリッジ部 2 1 の
上面にワックス 10 を塗布した。かかる態様によりリッ
ジ部 2 1 と電極 2 5 a , 2 5 b を固定することができる。
10 従って、リッジ部 2 1 の結晶の歪みを抑えることができ
る。

また、図 2 2 B に示す態様においては、図 1 0 D に示
したリッジ型の電気光学変調素子のリッジ部 2 1 及び電
極 2 5 a , 2 5 b の全体をワックス 10 で覆う。かかる
15 態様によってもリッジ部 2 1 と電極 2 5 a , 2 5 b を固
定することができるので、リッジ部 2 1 の結晶の歪みを
抑えることができる。

更に、図 2 2 B に示す態様においては、図 1 0 D に示
したリッジ型の電気光学変調素子の全体をワックス 10
20 で覆い、台座 1 9 に固定する。無論この場合も、リッジ
部 2 1 の結晶の歪みを抑えることができる。

尚、図 2 2 A 乃至 2 2 C のいずれの態様を選択するか
は、図 1 8 A 乃至 1 8 E の場合と同様、周波数平坦性の
度合いと電気光学効果の度合いとのトレードオフの観点
25 に基づく。

また、図 2 2 A 乃至 2 2 C の説明においては、ワックスで覆うように説明したが、ワックスに限らず、他の誘電体であってもよい。

また、図 2 2 A 乃至 2 2 C に示した態様は、図 1 2 D
5 に示したいわゆる L 型の電気光学変調素子にも応用できることは言うまでもない。

以上説明したように、上記各実施形態では、電気光学結晶に対し、粘性を有しかつ時間経過と共に固まる性質をもつ物質が塗布されているので、固まった物質が結晶
10 格子の変形を低減させ、その結果、共振がなくて、よりフラットな周波数特性の電気光学変調素子が得られる。

尚、本実施形態では、粘性を有しかつ時間経過と共に固まる性質をもつ物質を用いたが、それが、電気光学結晶に塗布されたときに少なくとも形状が変化しない程度
15 の粘性を有する物質であれば、思い通りの形状に塗布した後、それを放置しても形状が保たれるので好適である。

また、ワックスは、時間経過と共に水分が蒸発して固まるものであるが、時間と共に低温になることで固まる物質、すなわち粘性を有するように予め熱されている物
20 質を用いてもよい。また、接着剤であってもよい。

産業上の利用可能性

本発明によれば、電気光学結晶は、前記一对の電極間に入射する光の方向と平行な一对の側面のそれぞれに、
25 その方向と平行な溝を有することにより、両溝により挟

まれた薄い結晶部分が電界が結合する部分として構成され、その両溝には、一对の電極が満たされているか、一对の電極及び誘電体が満たされているので、電極間の薄い結晶部分から壊れ易いということがないと共に、電極間を極めて薄く加工することも困難なことではなく、更に電極間の薄い結晶部分の端面のみでなく、この部分以外の電気光学結晶の端面などを含む電気光学変調素子全体の端面として無反射コーティングを施すことにより、無反射コーティングを極めて容易かつ確実に行うことが可能である。また、薄い結晶部分歪むことなく、周波数特性が平坦になるという効果もある。

また、本発明によれば、ベース部の一側面上で突出した所定幅以下のリッジ部を電界が結合する電気光学結晶として構成したので、電極間の薄い結晶部分が壊れ易いということがないと共に、リッジ部からなる電極間の距離を極めて薄く、例えば0.1mm以下に加工することも困難なことではなく、更に入射面を無反射コーティングすること、電極間の薄い結晶部分の端面のみでなく、この部分の下側に一体的に形成されている電気光学結晶の端面を含む電気光学変調素子全体の端面に対して全体的に無反射コーティングを施すことにより、無反射コーティングを極めて容易かつ確実に行うことが可能である。

この場合、少なくとも、リッジ部の上面と、その上面と面一になっている一对の電極の側面とを誘電体で覆った場合には、リッジ部の電気光学結晶の歪みが抑えられ、

平坦な周波数特性が得られる。

また、この場合、少なくとも、リッジ部とベース部の境界部分の屈折率が、リッジ部の電気光学結晶の屈折率よりも低くなるようにすれば、電気光学結晶の長さを長くした場合であっても、回折した光が漏れるのを防止できる
5 できるので、大きな位相変調度を得ることができる。

また、本発明によれば、電気光学結晶と一对の電極とを相対的に固定するように誘電体が塗布されるので、電気光学結晶の歪みが抑えられ、平坦な周波数特性が得ら
10 れる。

請 求 の 範 囲

1 . 結合電界により複屈折率が変化する電気光学結晶
(1) と、この電気光学結晶に対して電界を結合させる
5 ために該電気光学結晶を挟んで配設される一对の電極
(5 a , 5 b) とを有し、この一对の電極を介して電界
が結合されることにより、その電界強度に応じた前記複
屈折率の変化に応じて一对の電極間に入射される光の偏
光を変化させる電気光学変調素子であって、

10 前記電気光学結晶 (1) は、前記入射する光の方向と
平行な一对の側面のそれぞれに、前記方向と平行な溝
(3 a , 3 b) を有することにより、両溝により挟まれ
た薄い結晶部分が前記電界が結合する部分として構成さ
れ、

15 前記一对の電極 (5 a , 5 b) は、それぞれ前記溝
(3 a , 3 b) を満たすように形成されていることを特
徴とする電気光学変調素子。

2 . 前記両溝 (3 a , 3 b) は、前記一对の側面にお
20 いて、前記光が入射し出射する両端面 (1 c , 1 d) に
渡って形成されていることを特徴とする請求の範囲第 1
項に記載の電気光学変調素子。

3 . 前記両溝は、前記一对の側面において、前記光が
25 入射し出射する両端面の間の両端部を除いた中央部のみ

に形成されていることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の電気光学変調素子。

4. 結合電界により複屈折率が変化する電気光学結晶

5 (1)と、この電気光学結晶に対して電界を結合させるために該電気光学結晶を挟んで配設される一対の電極(7a, 7b; 7aa, 7bb)とを有し、この一対の電極を介して電界が結合されることにより、その電界強度に応じた前記複屈折率の変化に応じて一対の電極間に
10 入射される光の偏光を変化させる電気光学変調素子であって、

前記電気光学結晶(1)は、前記入射する光の方向と平行な一対の側面のそれぞれに、前記方向と平行な溝(3a, 3b; 4a, 4b)を有することにより、両溝
15 により挟まれた薄い結晶部分が前記電界が結合する部分として構成され、

前記一対の電極(7a, 7b; 7aa, 7bb)は、前記両溝(3a, 3b; 4a, 4b)の底部に所定の厚さで形成され、

20 少なくとも、前記両溝(3a, 3b; 4a, 4b)の、前記一対の電極部分以外の残りの部分は、誘電体(9a; 9b; 9aa, 9ba; 10; 10a, 10b)で満たされていることを特徴とする電気光学変調素子。

25 5. 前記両溝(3a, 3b)は、前記一対の側面にお

いて、前記光が入射し出射する両端面（1 c、1 d）に渡って形成されていることを特徴とする請求の範囲第4項に記載の電気光学変調素子。

5 6. 前記両溝（4 a、4 b）は、前記一对の側面において、前記光が入射し出射する両端面（1 c、1 d）の間の両端部を除いた中央部のみに形成されていることを特徴とする請求の範囲第4項に記載の電気光学変調素子。

10 7. 前記両溝（3 a、3 b；4 a、4 b）の、前記一对の電極（7 a、7 b；7 a a、7 b b）部分以外の残りの部分は、誘電体（1 0）で満たされていると共に、
前記光が入射し出射する両端面以外の部分の全体が更なる誘電体（1 0）で覆われていることを特徴とする請求の範囲第4項乃至第6項のいずれか一項に記載の電気
15 光学変調素子。

8. 前記誘電体（9 a、9 b；9 a a、9 b a；1 0；1 0 a、1 0 b）は、ワックスであることを特徴と
20 する請求の範囲第4項乃至第7項のいずれか一項に記載の電気光学変調素子。

9. 結合電界により複屈折率が変化する電気光学結晶（1；6 1；6 1 A）と、この電気光学結晶に対して電
25 界を結合させるために該電気光学結晶を挟んで配設され

る一対の電極（25a, 25b; 29a, 29b; 64a, 64b）とを有し、この一対の電極を介して電界が結合されることにより、その電界強度に応じた前記複屈折率の変化に応じて一対の電極間に入射される光の偏光
5 を変化させる電気光学変調素子であって、

ベース部（63）と、

前記ベース部（63）の一側面上で突出し前記入射する光の方向に延設され、少なくともその一部が前記電気光学結晶で構成されると共に、その幅が所定値以下であるリッジ状のリッジ部（21; 21a; 64）と、を備
10 え、

前記一対の電極（25a, 25b; 29a, 29b; 64a, 64b）は、前記リッジ部（21; 21a; 64）の幅方向で対向する一対の側面上に形成されること
15 を特徴とする電気光学変調素子。

10. 前記リッジ部（21; 64）は、前記光の入射する方向から見て、前記ベース部の前記一側面上の略中央に形成されていることを特徴とする請求の範囲第9項
20 に記載の電気光学変調素子。

11. 前記リッジ部（21a）は、前記光の入射する方向から見て、前記ベース部の前記一側面上の端に形成されていることを特徴とする請求の範囲第9項に記載の
25 電気光学変調素子。

1 2 . 全体を覆う誘電体（1 0）を更に有することを
特徴とする請求の範囲第 9 項に記載の電気光学変調素子。

5 1 3 . 前記リッジ部（2 1 ; 2 1 a ; 6 4）を覆う誘
電体（1 0）を更に有することを特徴とする請求の範囲
第 9 項に記載の電気光学変調素子。

1 4 . 前記リッジ部（2 1 ; 2 1 a ; 6 4）の上面と、
10 その上面と面一になっている前記一对の電極（2 5 a ,
2 5 b ; 2 9 a , 2 9 b ; 6 4 a , 6 4 b）の側面とを
覆う誘電体（1 0）を更に有することを特徴とする請求
の範囲第 9 項に記載の電気光学変調素子。

15 1 5 . 前記誘電体（1 0）は、ワックスであることを
特徴とする請求の範囲第 1 2 項乃至第 1 4 項のいずれか
一項に記載の電気光学変調素子。

1 6 . 前記リッジ部（6 4）の、前記一对の電極（6
20 4 a , 6 4 b）が形成される前記一对の側面以外の一对
の側面のうちの前記ベース側の側面の少なくとも近傍に、
前記電気光学結晶の屈折率よりも低い屈折率を有する低
屈折率媒質（6 2）を備えていることを特徴とする請求
の範囲第 9 項に記載の電気光学変調素子。

1 7 . 前記リッジ部（6 4）が前記電気光学結晶（6 1）で構成され、前記ベース部（6 3）が前記低屈折率媒質（6 2）で構成されていることを特徴とする請求の範囲第16項に記載の電気光学変調素子。

5

1 8 . 前記リッジ部（6 4）と前記ベース部（6 3）の上部とが前記電気光学結晶（6 1）で構成され、前記ベース部（6 3）の残りの下部が前記低屈折率媒質（6 2）で構成されていることを特徴とする請求の範囲第1
10 6項に記載の電気光学変調素子。

1 9 . 前記ベース部（6 3）と前記リッジ部（6 4）の下部とが前記低屈折率媒質（6 2）で構成され、前記リッジ部（6 4）の残りの上部が前記電気光学結晶（6
15 1）で構成されていることを特徴とする請求の範囲第16項に記載の電気光学変調素子。

2 0 . 前記低屈折率媒質（6 2）は、前記電気光学結晶（6 1）とは同種類元素で構成されるもののその組成比
20 の違いに基づく屈折率の低い電気光学結晶であることを特徴とする請求の範囲第17項乃至第19項のいずれか一項に記載の電気光学変調素子。

2 1 . 前記リッジ部（6 4）が前記電気光学結晶（6
25 1）で構成され、前記ベース部（6 3）の上部が接着剤

(6 2 a) で構成され、前記ベース部 (6 3) の残りの下部が基板 (6 6) で構成されていることを特徴とする請求の範囲第 1 6 項に記載の電気光学変調素子。

5 2 2 . 前記リッジ部 (6 4) と前記ベース部 (6 3) の上部とが前記電気光学結晶 (6 1) で構成され、前記ベース部 (6 3) の前記電気光学結晶の下部が接着剤 (6 2 a) で構成され、前記ベース部 (6 3) の残りの下部が基板 (6 6) で構成されていることを特徴とする
10 請求の範囲第 1 6 項に記載の電気光学変調素子。

2 3 . 前記ベース部 (6 3) が基板 (6 6) で構成され、前記リッジ部 (6 4) の下部が接着剤 (6 2 a) で構成され、前記リッジ部 (6 4) の残りの上部が前記電気光学結晶 (6 1) で構成されていることを特徴とする
15 請求の範囲第 1 6 項に記載の電気光学変調素子。

2 4 . 前記低屈折率媒質 (6 2) は、前記ベース部 (6 3) の上部に設けられた空洞 (8 1 a , 8 9) 内の
20 気体又は真空状態であることを特徴とする請求の範囲第 1 6 項に記載の電気光学変調素子。

2 5 . 前記リッジ部 (6 4) は前記電気光学結晶 (7 3 a) で構成され、前記ベース部 (6 3) は周期構造を
25 有するフォトリソニック結晶 (7 5) で構成されていること

を特徴とする請求の範囲第9項に記載の電気光学変調素子。

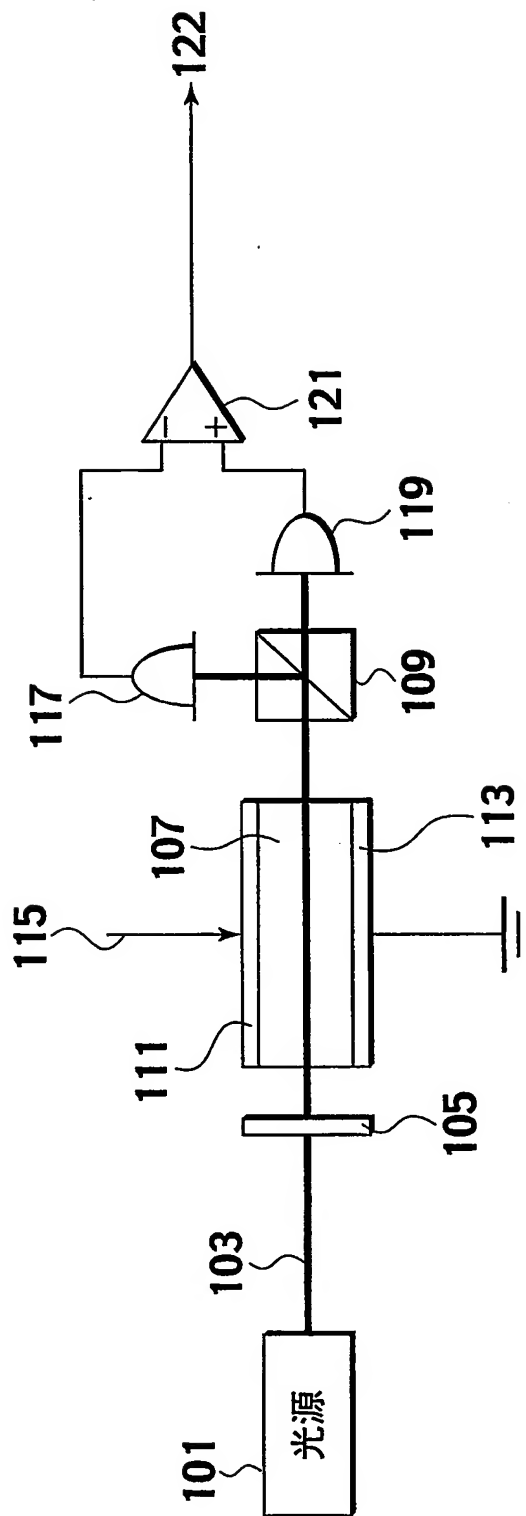
26. 結合電界により複屈折率が変化する電気光学結
5 晶(31)と、この電気光学結晶に対して電界を結合さ
せるために該電気光学結晶を挟んで配設される一対の電
極(33, 35)とを有し、この一対の電極を介して電
界が結合されることにより、その電界強度に応じた前記
複屈折率の変化に応じて一対の電極間に入射される光の
10 偏光を変化させる電気光学変調素子であって、

前記光が入射し出射する両端面上を除いて、前記電気
光学結晶(31)と前記一対の電極(33, 35)とを
相対的に固定するように塗布される誘電体(37)を更
に備えることを特徴とする電気光学変調素子。

15

27. 前記誘電体(37)は、粘性を有しかつ時間経
過と共に固まる性質をもつ物質であることを特徴とする
請求の範囲第26項に記載の電気光学変調素子。

FIG.1
PRIOR ART



2/21

FIG.2A
PRIOR ART

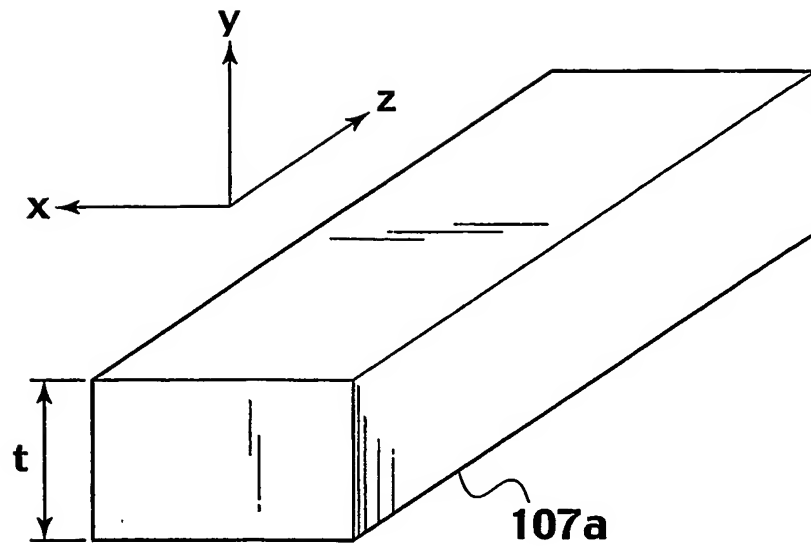


FIG.2B
PRIOR ART

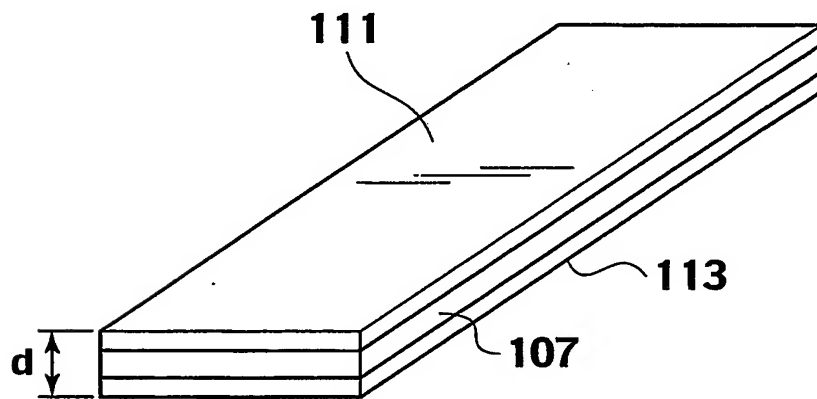


FIG.2C
PRIOR ART

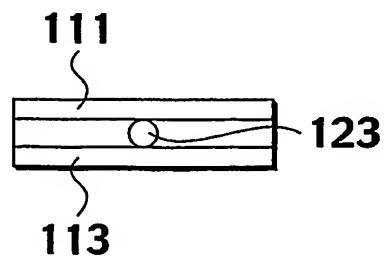


FIG.3A

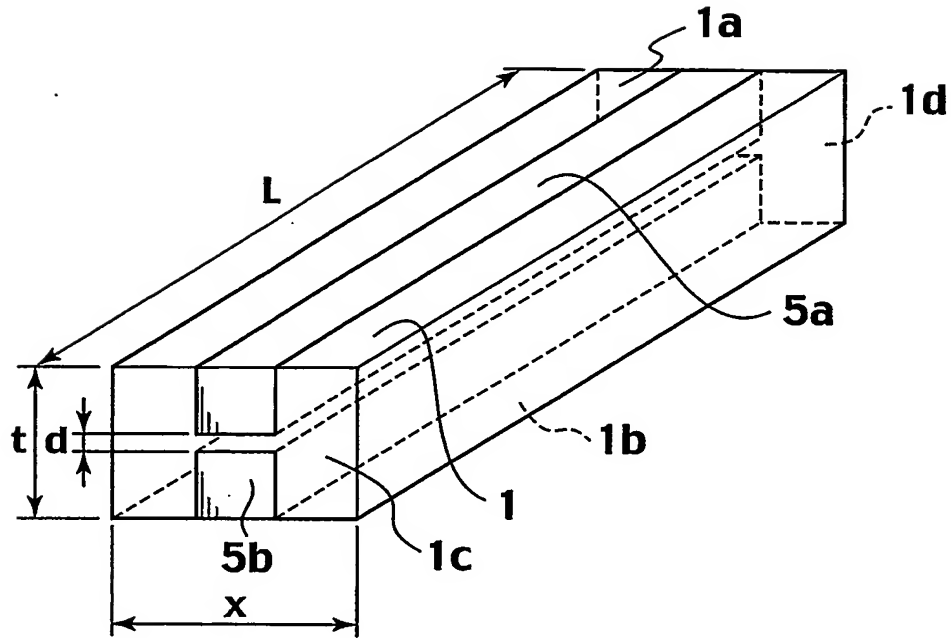


FIG.3B

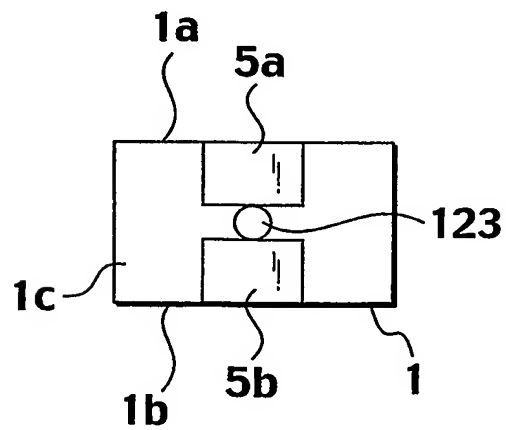


FIG.4A

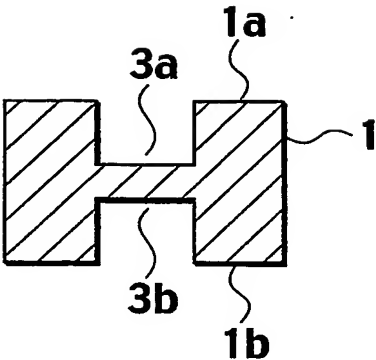


FIG.4B

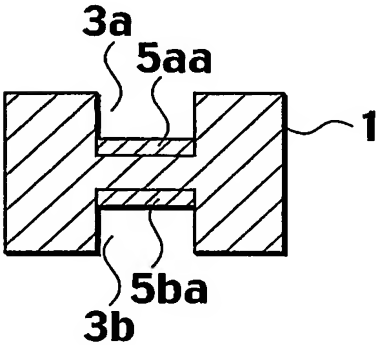


FIG.4C

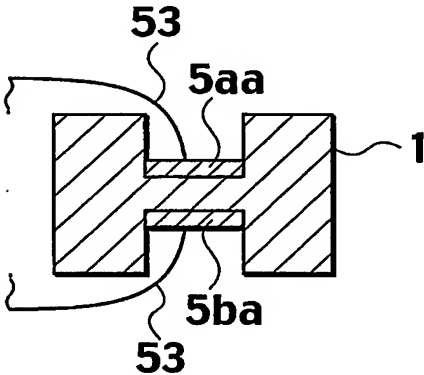
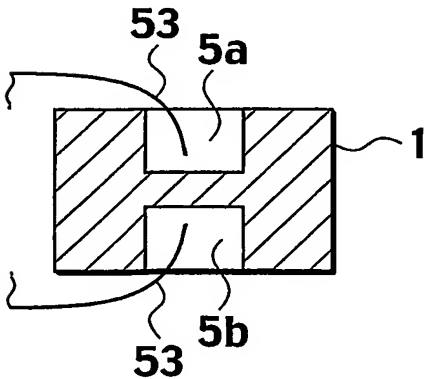
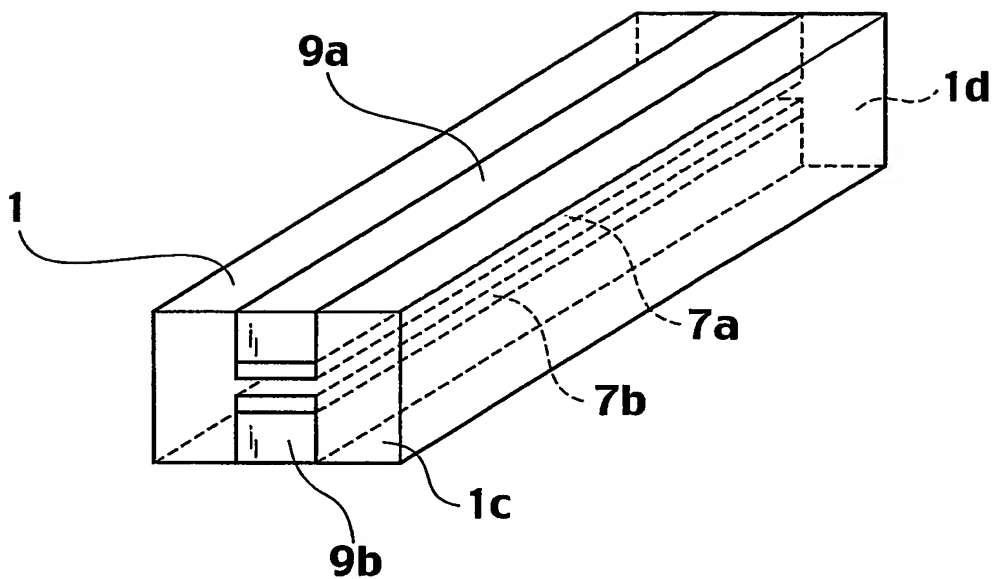
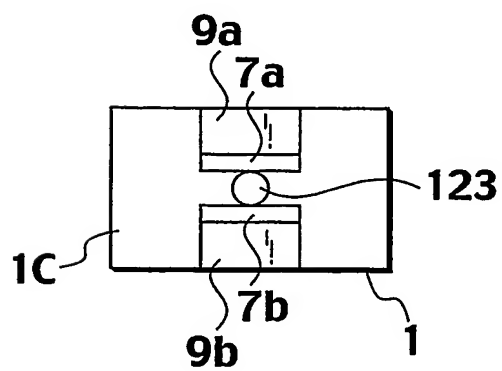


FIG.4D



5/21

FIG.5A**FIG.5B**

6/21

FIG.6A

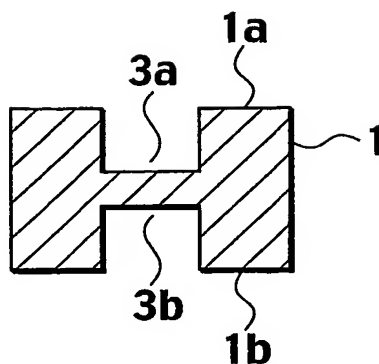


FIG.6B

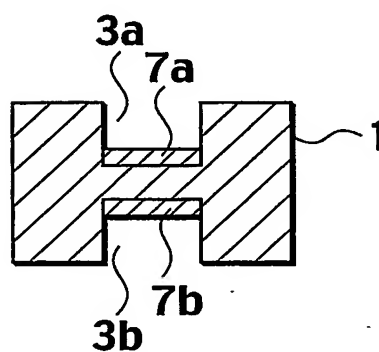


FIG.6C

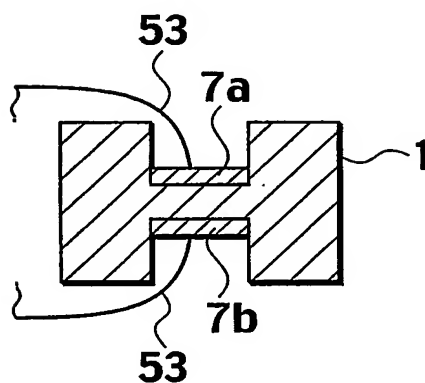
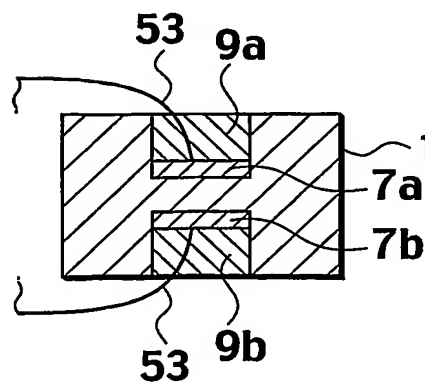


FIG.6D



7/21

FIG.7A

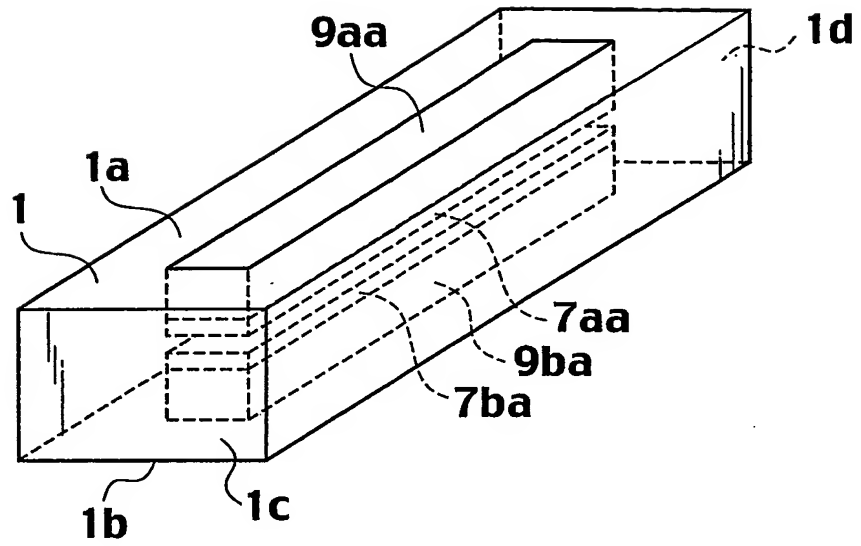
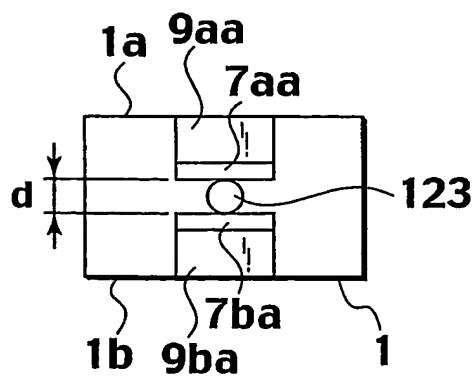


FIG.7B



8/21

FIG.8A

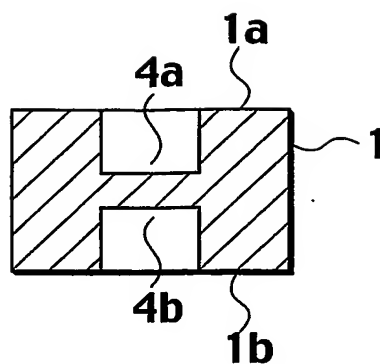


FIG.8B

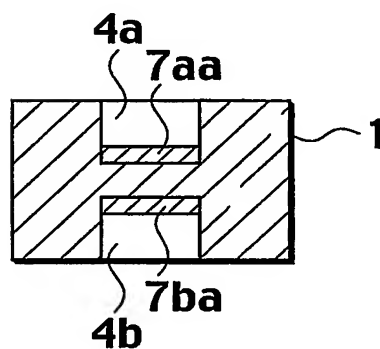


FIG.8C

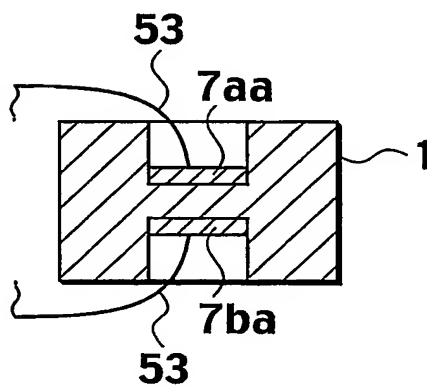
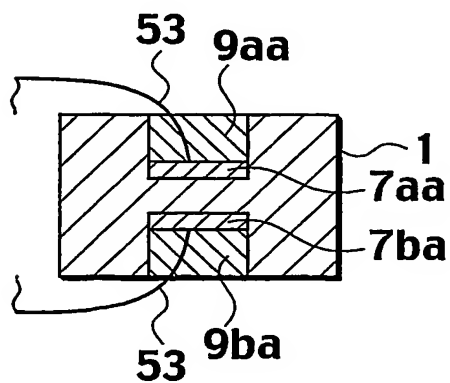


FIG.8D



9/21

FIG.9A

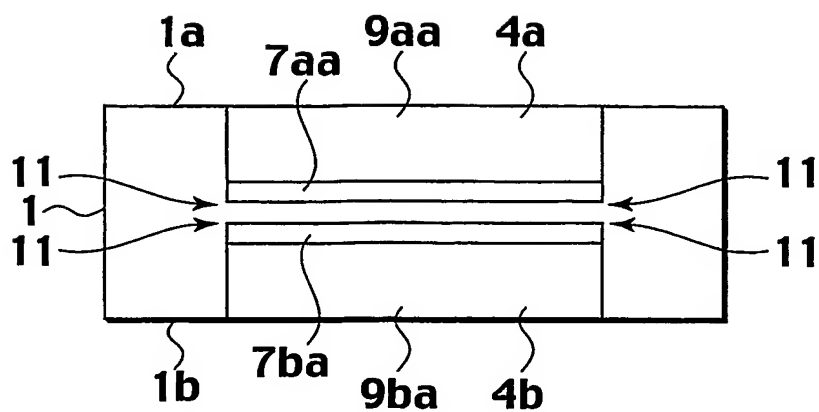


FIG.9B

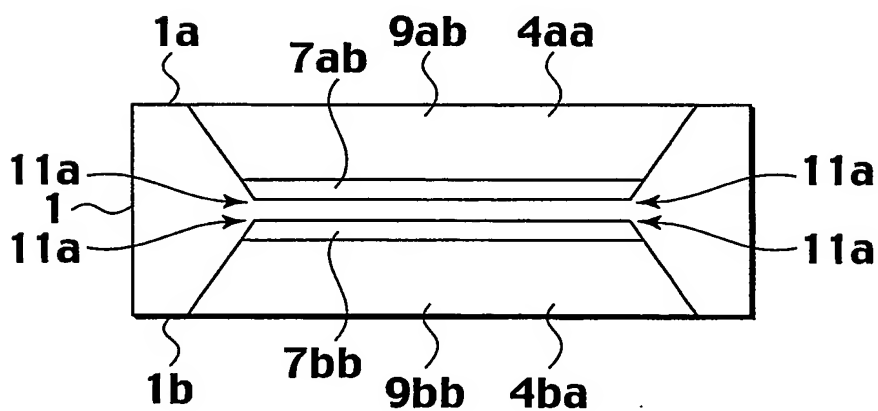
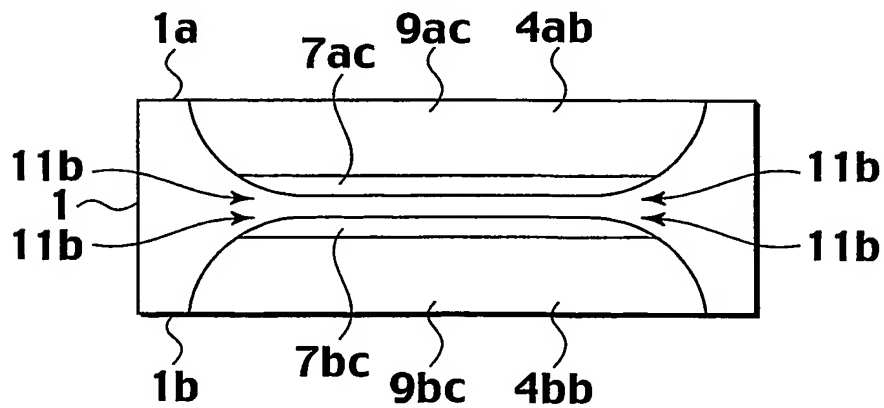


FIG.9C



10/21

FIG.10A

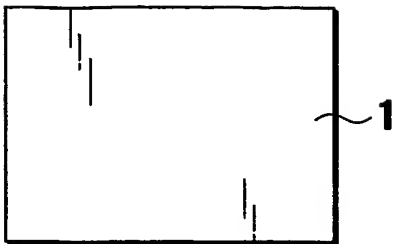


FIG.10B

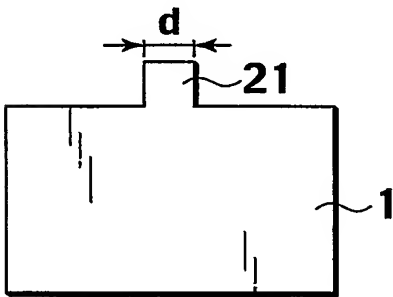


FIG.10C

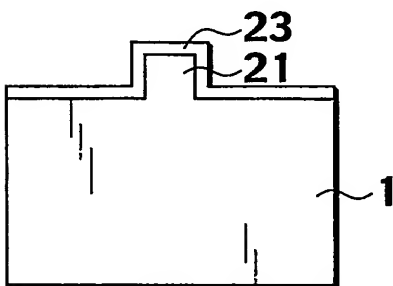


FIG.10D

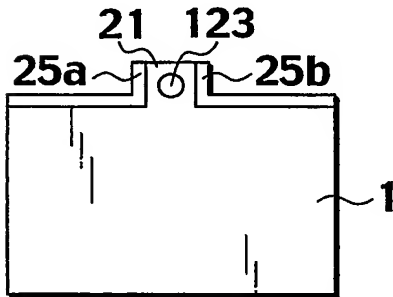
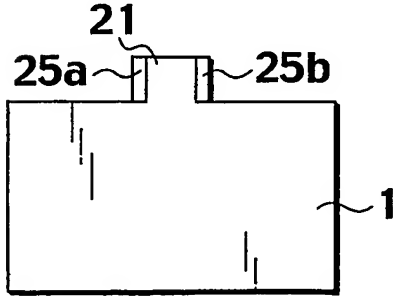


FIG.11



11/21

FIG.12A

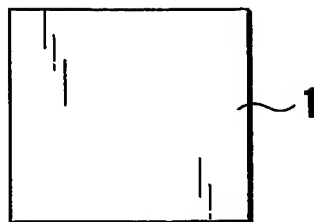


FIG.12B

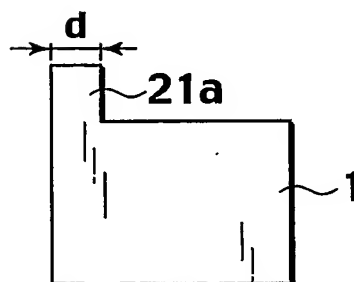


FIG.12C

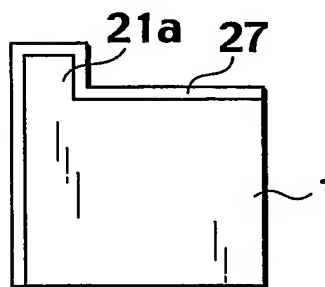


FIG.12D

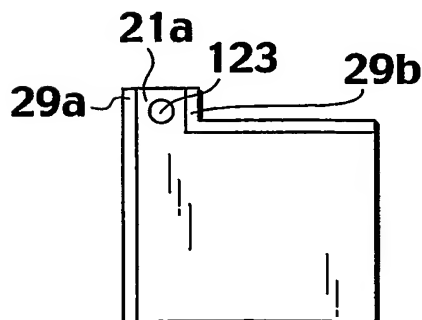


FIG.13

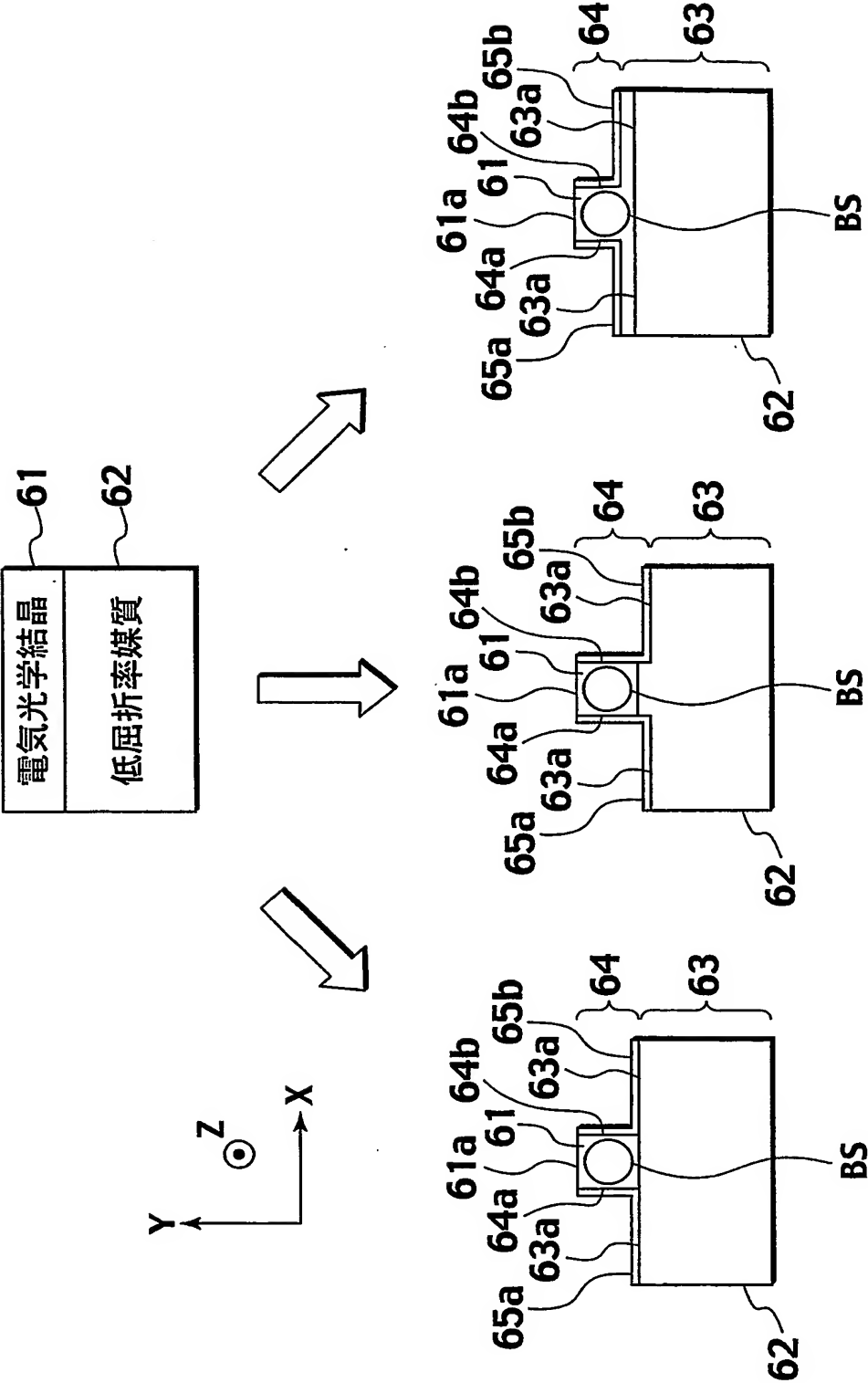


FIG. 14A

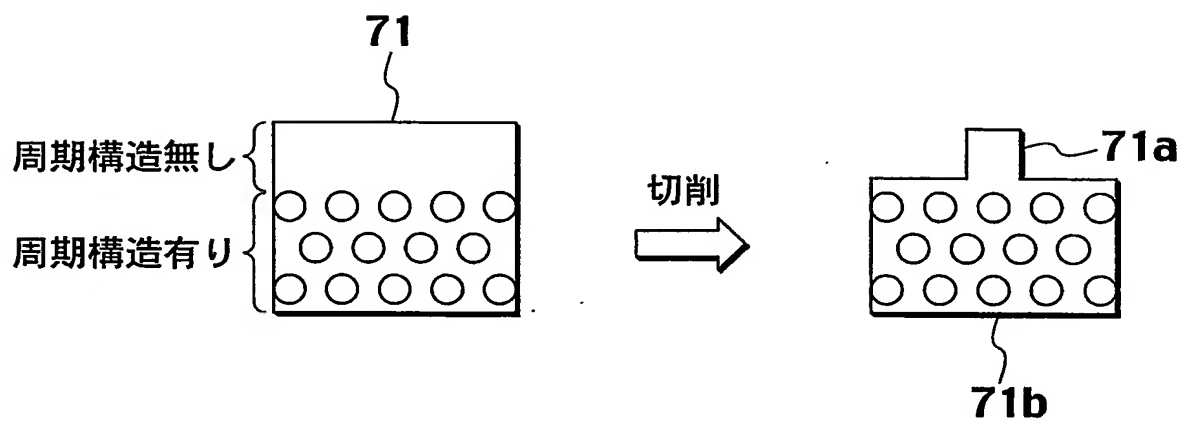


FIG. 14B

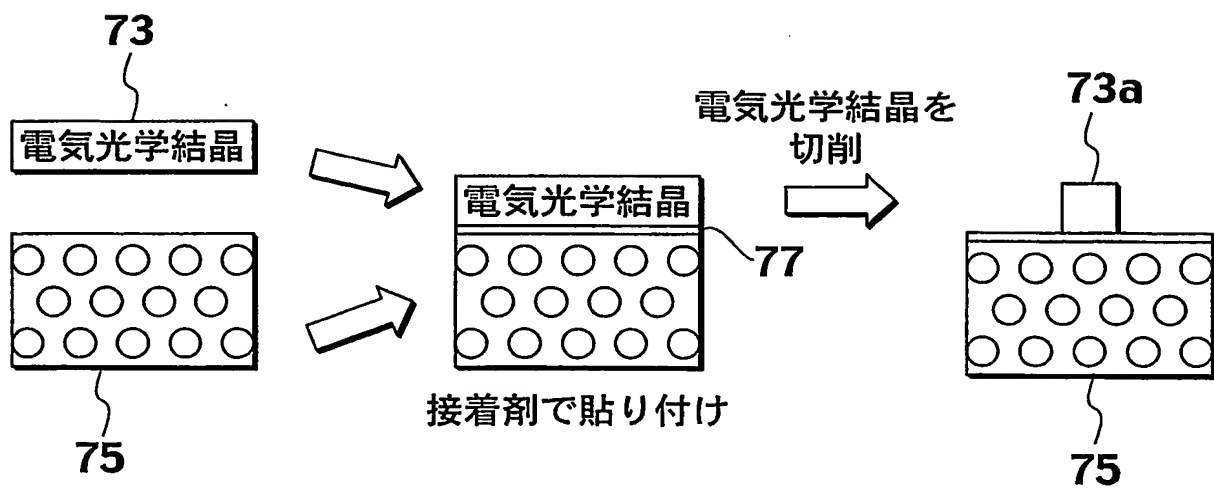


FIG.15

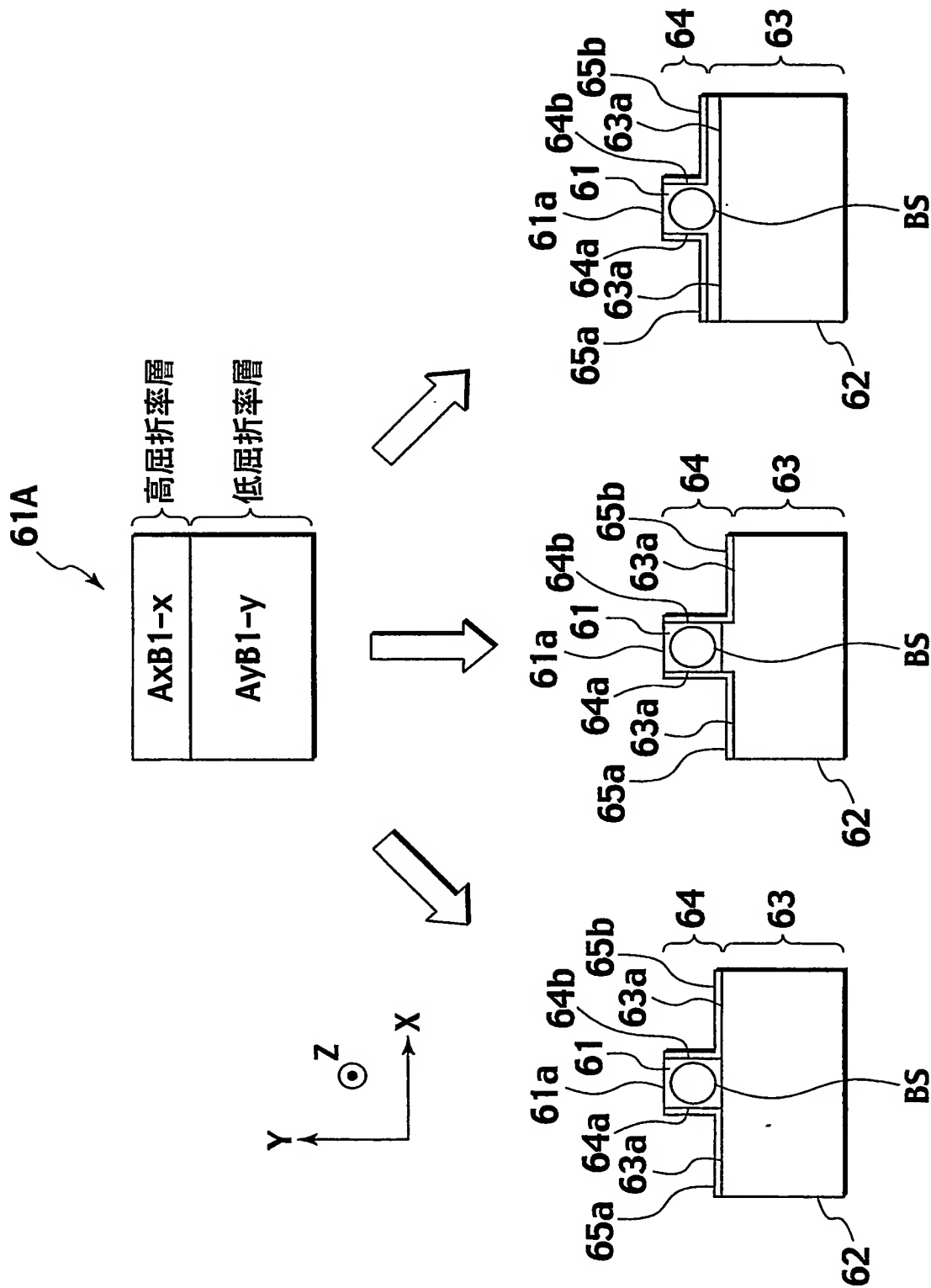


FIG.17A

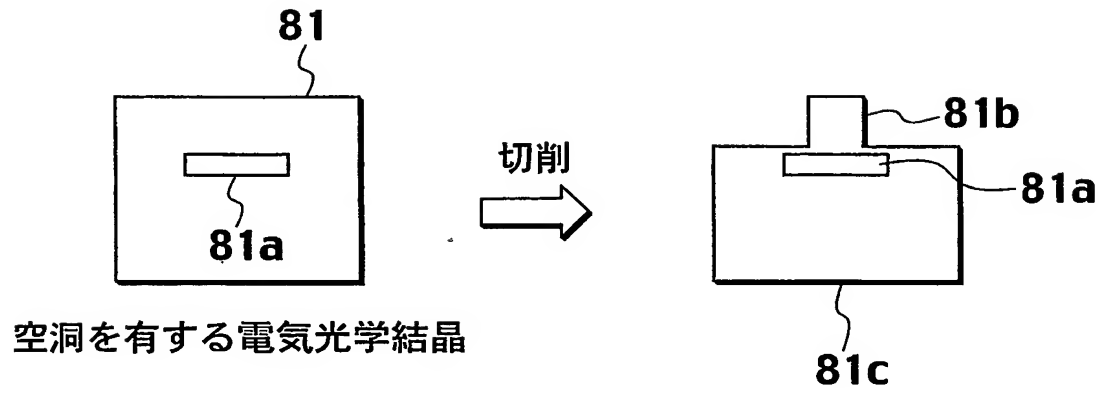


FIG.17B

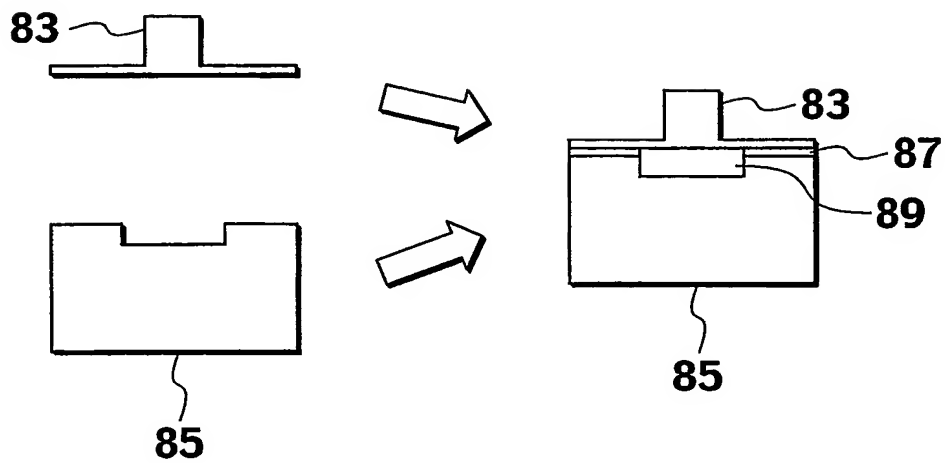


FIG. 18A

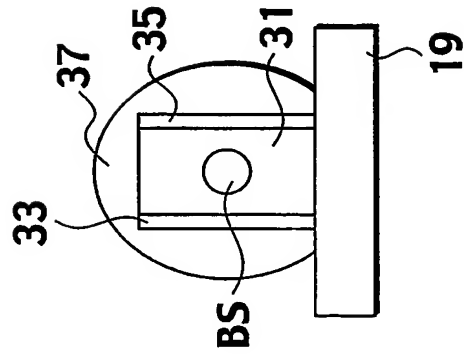


FIG. 18B

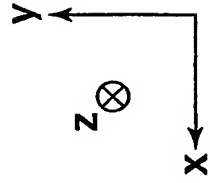
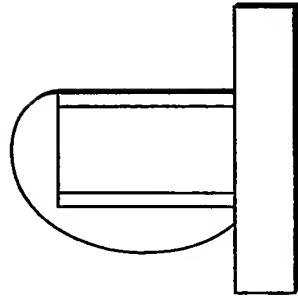


FIG. 18C

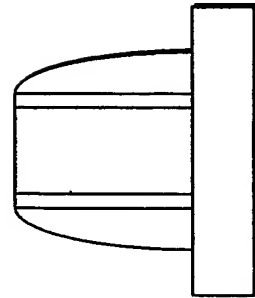


FIG. 18D

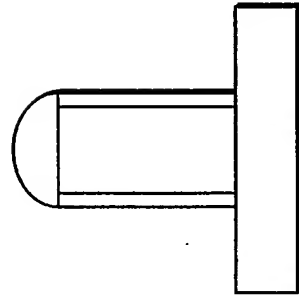


FIG. 18E

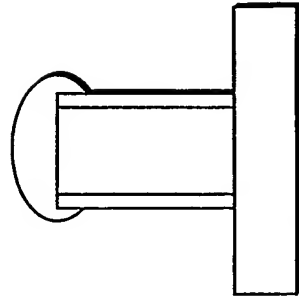


FIG.19

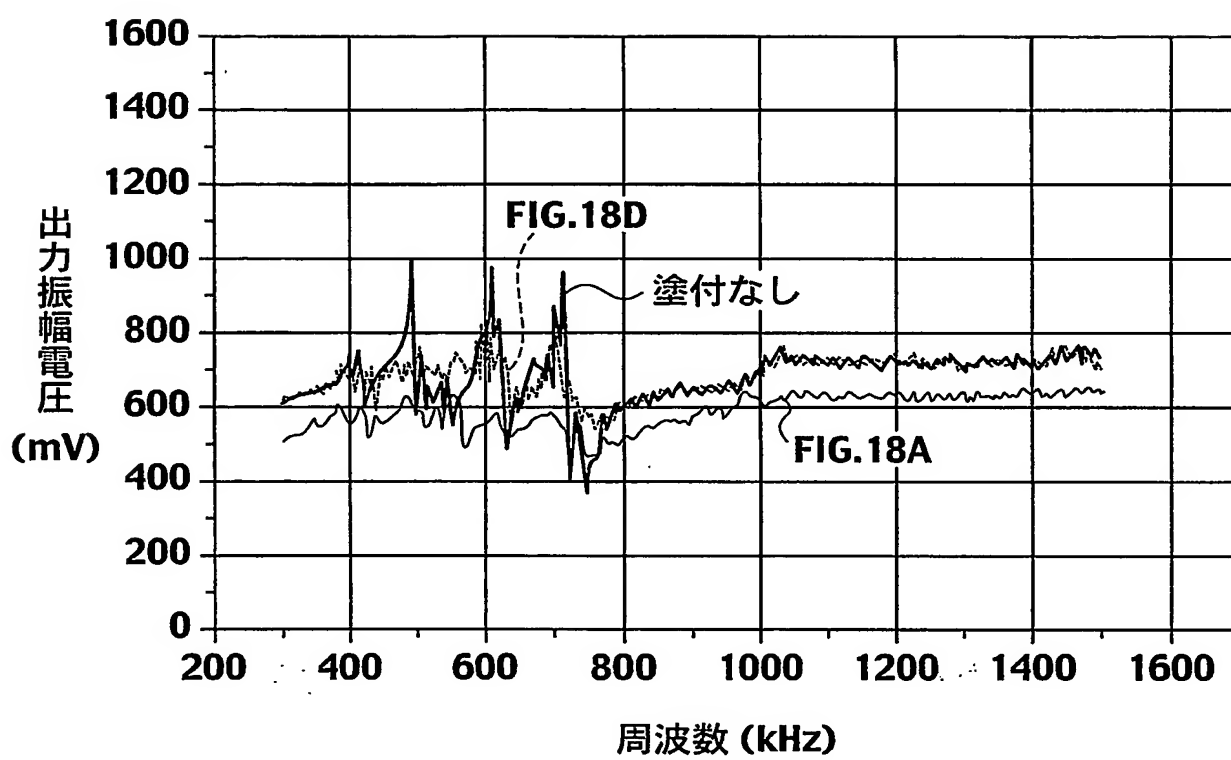


FIG.20A

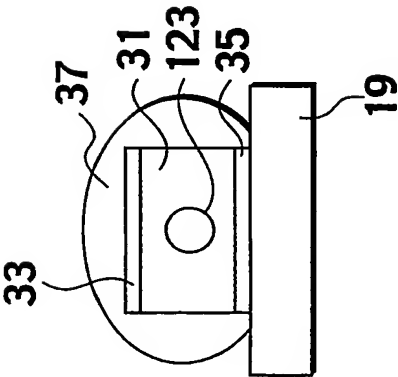


FIG.20B

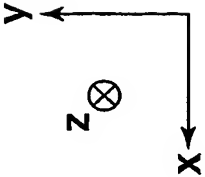
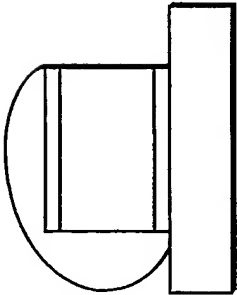


FIG.20C

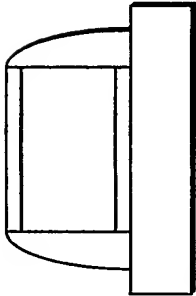


FIG.20D

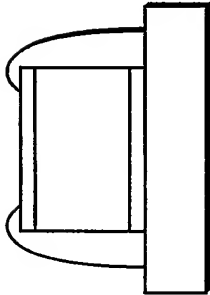


FIG.20E

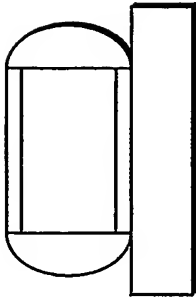


FIG.21A

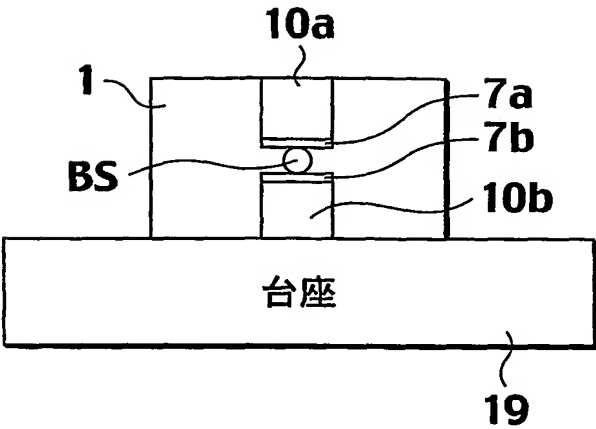
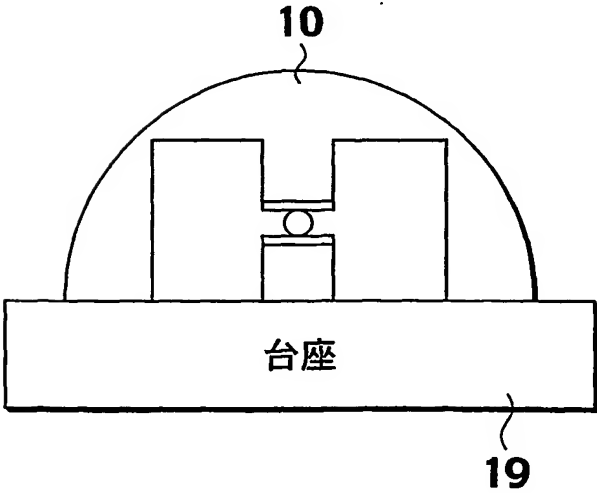


FIG.21B



21/21

FIG.22A

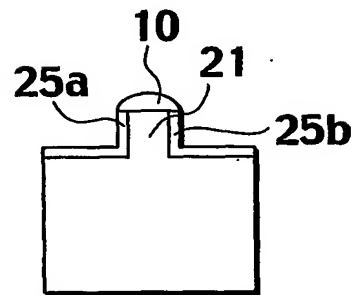


FIG.22B

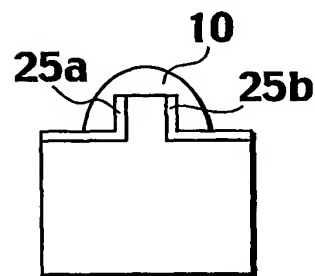
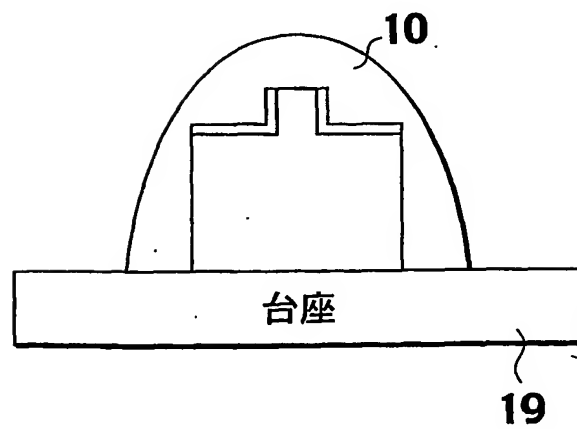


FIG.22C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008384

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02F1/03, G01R29/08, G01R29/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02F1/03, G01R29/08, G01R29/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2000-504124 A (British Telecommunications Public Limited Company), 04 April, 2000 (04.04.00), Fig. 9 & WO 97/28481 A1 & EP 877968 A & US 6044190 A	1-6 7, 8
A	JP 4-204815 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 27 July, 1992 (27.07.92), Fig. 2 (Family: none)	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 August, 2004 (25.08.04)Date of mailing of the international search report
14 September, 2004 (14.09.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008384

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 49-114436 A (Fujitsu Ltd.), 31 October, 1974 (31.10.74), Fig. 2(b); page 2, lower right column, lines 17 to 18 (Family: none)	1-6
E, A	JP 2003-270597 A (Kyocera Corp.), 25 September, 2003 (25.09.03), Fig. 3; Par. Nos. [0030] to [0031] (Family: none)	1-6
X Y	JP 11-2787 A (Fujitsu Ltd.), 06 January, 1999 (06.01.99), Par. Nos. [0003], [0007], [0013] (Family: none)	26, 27 7, 8, 12-15
X Y	JP 6-289347 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 18 October, 1994 (18.10.94), Fig. 1 & EP 585565 A2 & US 5418883 A1 & EP 816879 A1	9-11, 16-19 12-15, 20-25
X Y	JP 63-307427 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 15 December, 1988 (15.12.88), Fig. 3 (Family: none)	9-11, 16-19 12-15, 20-25
Y	JP 7-146413 A (Sharp Corp.), 06 June, 1995 (06.06.95), Par. Nos. [0003], [0027] (Family: none)	20
Y	JP 2000-321455 A (Mitsui Chemicals, Inc.), 24 November, 2000 (24.11.00), Par. No. [0004] (Family: none)	21-23
Y	JP 6-160788 A (Mitsubishi Electric Corp.), 07 June, 1994 (07.06.94), Par. No. [0035] (Family: none)	24
Y	JP 11-218627 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 10 August, 1998 (10.08.98), (Family: none)	25
Y	JP 2001-154047 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 08 June, 2001 (08.06.01), (Family: none)	25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008384

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-249235 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 14 September, 2001 (14.09.01), (Family: none)	25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008384

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
(see extra sheet)

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008384

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

The matter common to the inventions as claimed in Claims 1-25 is deemed to be "a matter which reduces the thickness of a portion of an electrooptic modulation element."

However, the common matter is known as it is described in, for example, Documents JP 2000-504124 A (British Telecommunications Public Limited Company), 4 April, 2000 and JP 62-198824 A (Hitachi, Ltd.), 2 September, 1987, so that the common matter cannot be deemed to be a technical feature contributing to the prior art.

Further, the matter common to the inventions as claimed in Claims 1-8 is deemed as "having grooves in a pair of side walls parallel to the direction of incident light, the grooves being parallel to this direction."

However, the common matter is known as it is described in Document JP 2000-504124 A (British Telecommunications Public Limited Company), 4 April, 2000, so that the common matter cannot be deemed to be a technical feature contributing to the prior art.

Further, the matter common to the inventions as claimed in Claims 9-25 is deemed to be "the provision of a ridge projecting from a side surface of an electrooptic modulation element and extending in the direction of incident light."

However, the common matter is known as it is described in Document JP 62-198824 A (Hitachi, Ltd.), 2 September, 1987, so that the common matter cannot be deemed to be a technical feature contributing to the prior art.

"A special technical feature" in Claims 1-6 is deemed to relate to "having grooves in a pair of side walls parallel to the direction of incident light, the grooves being parallel to this direction," "a special technical matter" in Claims 7, 8, 12-15, 26, 27 is deemed to relate to "covering the electrooptic modulation element with a dielectric," "a special technical feature" in Claims 9-11 is deemed to "being provided with a ridge projecting from one side surface of an electrooptical modulation element and extending in the direction of incident light," and "a special technical feature" in Claims 16-25 is deemed to relate to "being provided with a medium of low refractive index at least in the vicinity of a side surface of an electrooptic modulation element." Since these inventions are not in a technical relation including one or more identical or corresponding special technical features, they cannot be deemed to be so linked as to form a single general inventive concept.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02F1/03, G01R29/08, G01R29/12

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02F1/03, G01R29/08, G01R29/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	J P 2000-504124 A (ブリティッシュ・テレコミュニ ケーションズ・パブリック・リミテッド・カンパニー) 200 0.04.04, Fig 9 & WO 97/28481 A1 & EP 877968 A & US 6044190 A	1-6 7, 8
A	J P 4-204815 A (松下電器産業株式会社) 1992. 07.27, 第2図 (ファミリーなし)	1-6
A	J P 49-114436 A (富士通株式会社) 1974. 1 0.31, 第2図 (b)、第2頁右下欄17行-18行 (ファミリ ーなし)	1-6
EA	J P 2003-270597 A (京セラ株式会社) 2003.	1-6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25.08.2004

国際調査報告の発送日

14.9.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐藤 宙子

2X

3314

電話番号 03-3581-1101 内線 3293

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
	09. 25, 図3、【0030】－【0031】 (ファミリーなし)	
X Y	J P 11-2787 A (富士通株式会社) 1999. 01. 06, 【0003】、【0007】、【0013】 (ファミリーなし)	26, 27 7, 8, 12 －15
X Y	J P 6-289347 A (松下電器産業株式会社) 1994. 10. 18, 図1&EP 585565 A2 &US 5418883 A1 &EP 816879 A1	9-11, 1 6-19 12-15, 20-25
X Y	J P 63-307427 A (松下電器産業株式会社) 1988. 12. 15, 第3図 (ファミリーなし)	9-11, 1 6-19 12-15, 20-25
Y	J P 7-146413 A (シャープ株式会社) 1995. 06. 06, 【0003】、【0027】 (ファミリーなし)	20
Y	J P 2000-321455 A (三井化学株式会社) 2000. 11. 24, 【0004】 (ファミリーなし)	21-23
Y	J P 6-160788 A (三菱電機株式会社) 1994. 06. 07, 【0035】 (ファミリーなし)	24
Y	J P 11-218627 A (日本電信電話株式会社) 1998. 08. 10, (ファミリーなし)	25
Y	J P 2001-154047 A (浜松ホトニクス株式会社) 2001. 06. 08, (ファミリーなし)	25
Y	J P 2001-249235 A (日本電信電話株式会社) 2001. 09. 14, (ファミリーなし)	25

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT 17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

特別ページ参照

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

請求の範囲1-25に係る発明の共通事項は「電気光学変調素子の一部分を薄くさせる事項」であると認められる。

しかし、前記共通事項は例えば文献JP 2000-504124 A (ブリティッシュ・テレコミュニケーションズ・パブリック・リミテッド・カンパニー) 2000.04.04、及び、JP 62-198824 A (株式会社日立製作所) 1987.09.02に記載され公知であり、前記共通事項を先行技術に対して貢献する技術的特徴と認めることはできない。

また、請求の範囲1-8に係る発明の共通事項は「入射する光の方向と平行な一对の側面のそれぞれに、前記方向と平行な溝を有すること」であると認められる。

しかし、前記共通事項は文献JP 2000-504124 A (ブリティッシュ・テレコミュニケーションズ・パブリック・リミテッド・カンパニー) 2000.04.04に記載されて公知であり、前記共通事項を先行技術に対して貢献する技術的特徴と認めることはできない。

また、請求の範囲9-25に係る発明の共通事項は「電気光学変調素子の一側面上で突出し入射する光の方向に延設されたリッジ部を備えること」であると認められる。

しかし、前記共通事項は文献JP 62-198824 A (株式会社日立製作所) 1987.09.02に記載されて公知であり、前記共通事項を先行技術に対して貢献する技術的特徴と認めることはできない。

請求の範囲1-6の「特別な技術的特徴」は「入射する光の方向と平行な一对の側面のそれぞれに、前記方向と平行な溝を有すること」に関し、請求の範囲7, 8, 12-15, 26, 27の「特別な技術的特徴」は「電気光学変調素子を誘電体で覆うこと」に関し、請求の範囲9-11の「特別な技術的特徴」は「電気光学変調素子の一側面上で突出し入射する光の方向に延設されたリッジ部を備えること」に関し、請求の範囲16-25の「特別な技術的特徴」は「電気光学変調素子の側面の少なくとも近傍に低屈折率媒質を備えること」に関するものであると認められる。これらの発明は、一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係にないから、単一の一般的発明概念を形成するように連関しているものとは認められない。